



# **KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH**

**Programmgruppe  
Systemforschung und Technologische Entwicklung**

## **Angewandte Systemanalyse Nr. 49**

**Analyse der Auslegung, des Betriebes  
und der Beschaffung von Heizsystemen  
für Haushalte**

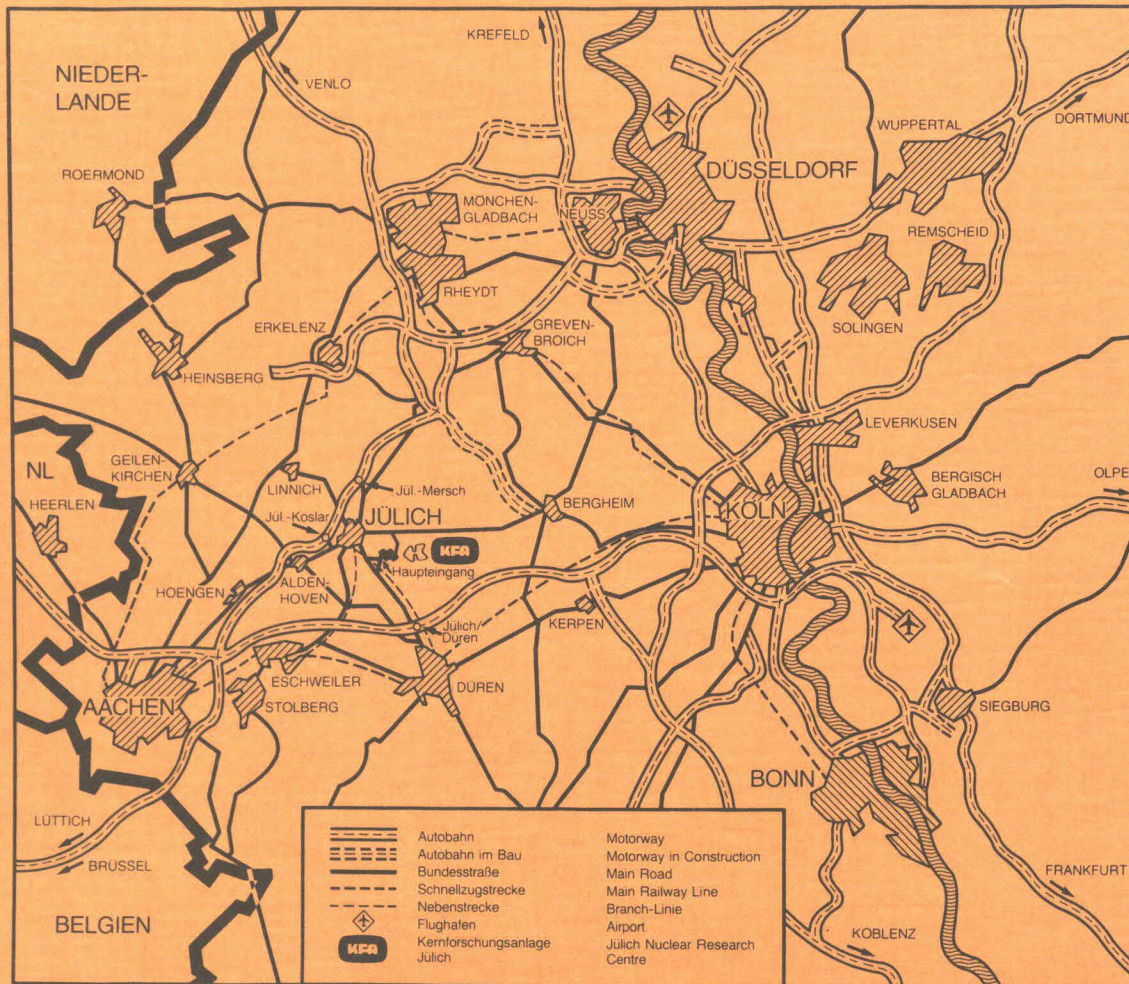
**Wärmebedarf – Technische Systeme –  
Kosten – Marktentscheidung**

von  
Helmut Kollmann

**Jül-Spez-384  
Dez. 1986  
ISSN 0343-7639**







Als Manuskript gedruckt

### Spezielle Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 384

Programmgruppe Systemforschung und Technologische Entwicklung Jül-Spez-384

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH

Postfach 19 13 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)

Telefon: 02461/610 · Telex: 833556-0 kf d



# **Angewandte Systemanalyse**

## **Nr. 49**

**Analyse der Auslegung, des Betriebes  
und der Beschaffung von Heizsystemen  
für Haushalte**

**Wärmebedarf – Technische Systeme –  
Kosten – Marktentscheidung**

von  
Helmut Kollmann

D 465 (Diss. Uni. Essen, Gesamthochschule)





## Übersicht

Im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit steht die Analyse der Raumwärmeversorgung der im Zeitraum der beiden Ölpreiskrisen (1972 - 1984) erstellten Ein- und Zweifamilienhäuser.

Es ist Ziel der Arbeit, festzustellen, ob der Wandel bei der Wahl von Heizsystemen primär durch die in diesem Zeitraum veränderten technischen und ökonomischen Ausgangsbedingungen erklärt werden kann. Als Grundhypothese wird unterstellt, daß die beobachteten Substitutionsprozesse zwischen den Heizsystemen Ergebnis einer rational geplanten Entscheidung aufgrund ökonomischer Kalküle sind.

Im Hinblick auf die Beschaffung von Raumheizanlagen bedeutet dies die Berücksichtigung und Anwendung der Methoden, die zur technischen Auslegung, zur Betriebsanalyse bzw. zur Erarbeitung eines ökonomischen Werturteils führen. Die sich daraus ergebenden Arbeitsschritte beziehen sich auf die

1. Berechnung des Wärmeleistungsbedarfs eines Gebäudes
2. Vorausschätzung des Energieverbrauchs zu vergleichender Heizsysteme
3. Wahl des Verfahrens zur Wirtschaftlichkeitsberechnung und Bestimmung der Eingabewerte.

Untersuchungsraum ist das direktversorgte Absatzgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (RWE) in Essen. Für dieses Gebiet, das in guter Näherung als repräsentativ für die Bundesrepublik Deutschland gelten kann, werden aus Totalerhebungen vorliegende Statistiken über die Wahl von Heizsystemen ausgewertet.

Zur Analyse der Entscheidung für Heizsysteme wird eine grafische Methode entwickelt, mit der der Zusammenhang zwischen Kostenentwicklung und Wahlentscheid geprüft wird. Um für diesen

Test den Spielraum des Entscheiders in einem größeren Versorgungsgebiet angemessen zu berücksichtigen, wird die Spannbreite des Entscheidungsraumes durch ein systematisiertes Aufsuchen der wichtigsten Einflußgrößen transparent gemacht.

Auf der Basis dieser Analysen des technisch-ökonomischen Entscheidungsraumes gilt die besondere Aufmerksamkeit

- der Substitution konventioneller Heizsysteme untereinander (Öl-, Gas- und Kokskessel sowie Fernwärmeheizung und Nachtspeicheröfen),
- der Beurteilung energiesparender, innovativer Heizsysteme (Wärmepumpen).



## Inhaltsverzeichnis

	Seite
1.	Einführung 1
1.1	Problemstellung und Ziel der Arbeit 1
1.2	Die Wahl von Heizsystemen - eine rationale Beschaffungsentscheidung der Haushalte? 2
1.3	Eingrenzung der Entscheidungsvarianten 5
1.4	Einordnung der Arbeit und Vorgehensweise 8
	Schrifttum 11
2.	Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen bei der Wahl von Heizsystemen 16
2.1	Entwicklung der energiewirtschaftlichen Gesamtsituation 16
2.2	Energiepolitische Maßnahmen unter besonderer Berücksichtigung der privaten Haushalte 17
	Schrifttum 23
3.	Wärmebedarf 25
3.1	Behagliches Raumklima 26
3.2	Klimatische Einflüsse 27
3.2.1	Außenluft 28
3.2.2	Wind 32
3.2.3	Sonnenstrahlung 35
3.2.4	Wärmequelle Grundwasser 36
3.3	Standorteinfluß 37
3.4	Bauweise 38
3.4.1	Gebäudeform 38
3.4.2	Gebäudeorientierung 40
3.5	Bauphysikalische Einflüsse 41
3.5.1	Wärmedurchgang 41
3.5.2	Wärmespeicherung 45
3.5.3	Wärmeschutz und Feuchtigkeit 46
3.5.4	Wärmedurchgangsverluste eines Raumes 46
3.6	Lüftungsverluste 48
3.7	Nutzereinflüsse und interne Lasten 54
3.8	Wärmebedarf eines Gebäudes 54
3.9	Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden 55
3.10	Auswahl von Haustypen und Ermittlung von Eingabewerten 57
3.10.1	Strukturdaten des Gebäudebestandes des Versorgungsgebietes des Rheinisch-Westfälischen-Elektrizitätswerkes und des Bundesgebietes 58
3.10.2	Berechnungsunterlagen und Eingabewerte 61
3.10.3	Ergebnisse der Wärmebedarfsrechnungen 66
3.11	Anwendung vereinfachter Methoden in der Praxis 72
	Schrifttum 78

4.	Heizungstechnische Konzepte und Energieverbrauch	82
4.1	Heizungstechnische Konzepte	82
4.1.1	Qualitative Bewertung	83
4.1.1.1	Leistungsbezogene Kenngrößen	85
4.1.1.2	Arbeitsbezogene Kenngrößen	86
4.1.2	Warmwasser-Zentralheizung	87
4.1.2.1	Schematischer Aufbau	87
4.1.2.2	Wärmeerzeuger	88
4.1.2.2.1	Konventionelle Wärmeerzeuger	89
4.1.2.2.1.1	Verbrennung	89
4.1.2.2.1.2	Betriebsweise	93
4.1.2.2.2	Wärmepumpen	95
4.1.2.2.2.1	Funktionsweise der Wärmepumpe	96
4.1.2.2.2.2	Ausführungsbeispiele	97
4.1.2.3	Heizflächen	102
4.1.2.4	Regelung	106
4.1.3	Elektrische Nachtstromspeicheröfen	111
4.2	Energieverbrauch von Heizungsanlagen	112
4.2.1	Auslegungsleistung und Betriebsverhalten von Heizanlagen	112
4.2.1.1	Konventionelle Heizungsanlagen	112
4.2.1.1.1	Verbrennungsanlagen	112
4.2.1.1.2	Fernwärme	117
4.2.1.1.3	Nachtstromspeicheröfen	119
4.2.1.2	Wärmepumpen	121
4.2.1.2.1	Monovalente Grundwasser-Wärmepumpe	121
4.2.1.2.2	Bivalent-alternative Außenluft-Wärmepumpe	125
4.2.2	Verfahren zur Vorausberechnung des Energieverbrauchs	127
4.2.2.1	Berechnung konventioneller Systeme	127
4.2.2.1.1	Wärmeverbrauch (Nutzwärme)	127
4.2.2.1.2	Energieverbrauch	133
4.2.2.1.2.1	Eingabewerte für Vollbenutzungsstunden	134
4.2.2.1.2.2	Eingabewerte für Nutzungsgrade	136
4.2.2.2	Berechnung von Wärmepumpen	138
4.2.3	Ergebnisse für ausgewählte Heizsysteme	143
	Schrifttum	153
5.	Investitionsplanung und -entscheidung	165
5.1	Methoden der Investitionsrechnung	167
5.1.1	Allgemeine Betrachtung eines Investitionsvergleichs	167
5.1.2	Statische und dynamische Verfahren	171
5.1.3	Elemente der Kapitalwert-Methode	172
5.1.4	Dynamische Annuitäten-Methode	177
5.1.5	Verfahren nach VDI 2067	180
5.1.6	Anmerkungen zu Investitionsrechnungen	183
5.1.7	Ergänzendes Planungsinstrumentarium	186
5.1.7.1	Kritische (anlegbare) Kosten	188
5.1.7.2	Kritischer (anlegbarer) Energiepreis	189
5.1.7.3	Kritische Ölpreissteigerungsrate bei dynamischen ex-ante Rechnungen	190
5.1.7.4	Darstellungsarten	191



5.2	Analyse der ökonomischen Eingabewerte für Investitionsrechnungen	195
5.2.1	Energiepreise	195
5.2.1.1	Preisbildung in der Energiewirtschaft	195
5.2.1.2	Mineralöl (Heizöl)	197
5.2.1.2.1	Preisbildung	198
5.2.1.2.2	Eingabewerte	202
5.2.1.3	Erdgas und Flüssiggas	205
5.2.1.3.1	Preisbildung	207
5.2.1.3.2	Eingabewerte	209
5.2.1.4	Elektrizität	213
5.2.1.4.1	Preisbildung	215
5.2.1.4.2	Eingabewerte	218
5.2.1.4.2.1	Nachtstromspeicherheizung	218
5.2.1.4.2.2	Wärmepumpen	221
5.2.1.4.2.3	Strom für Hilfsantriebe	221
5.2.1.5	Steinkohle (Breckkoks)	224
5.2.1.5.1	Preisbildung auf dem Wärmemarkt	224
5.2.1.5.2	Eingabewerte für Brechkoks III	225
5.2.1.6	Fernwärme	227
5.2.1.6.1	Preisbildung	229
5.2.1.6.2	Eingabewerte	231
5.2.1.7	Versorgungsgebiete im Vergleich	235
5.2.2	Kosten	235
5.2.2.1	Investitionskosten	235
5.2.2.1.1	Schätzverfahren zur Ermittlung der Investitionskosten eines Basissystems	235
5.2.2.1.2	Eingabewerte der restlichen Systeme	240
5.2.2.2	Kostenstruktur der Investitionskosten und Instandhaltungskosten	250
5.2.2.3	Wartungskosten	255
5.2.2.4	Risikobewertung	260
5.2.2.5	Berücksichtigung von Steuererleichterungen und Subventionen	265
5.3	Investitionsentscheidung unter den Gesichtspunkten der Werbung und Absatzförderung der Energiewirtschaft	268
5.3.1	Produktbild (Image) der Energieträger auf dem Wärmemarkt	268
5.3.2	Beeinflussung von Zielgruppen durch Entscheidungshilfe "Heizkostenvergleich	271
5.4	Investitionsentscheidung und neutrale Verbraucherberatung	273
	Schrifttum	274
6.	Heizkostenvergleiche und Verbraucherentscheidung	289
6.1	Sozioökonomische Randbedingungen im Versorgungsgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes	289
6.2	Die Wahl von Heizsystemen	293
6.2.1	Entwicklung der Heizungsstruktur in der Bundesrepublik Deutschland	293

6.2.2	Verbraucherentscheidung im Versorgungsgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes	297
6.2.2.1	Grundlagen der Erhebung	297
6.2.2.2	Ergebnisse	297
6.2.2.2.1	Das gesamte direktversorgte Absatzgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes	297
6.2.2.2.2	Spezifische Entwicklungen einzelner Energieträger	300
6.2.2.2.2.1	Heizöl	300
6.2.2.2.2.2	Erdgas	302
6.2.2.2.2.3	Fernwärme	305
6.2.2.2.2.4	Strom	307
6.2.2.3	Auswahl typischer Versorgungssituationen	308
6.2.3	Überprüfung der Verbraucherentscheidung	312
6.2.4	Versorgungsgebiete mit dominierender Erdgasver- sorgung	313
6.2.4.1	Heizkostenvergleich Erdgas - Heizöl	314
6.2.4.1.1	Sensitivitätsanalyse	314
6.2.4.1.2	Spannbreite der Heizkosten	316
6.2.4.1.3	Preisvarianten für den mittleren Haustyp (Basisfall)	318
6.2.4.1.4	Heizkostenentwicklung und Verbraucherentscheidung	325
6.2.4.1.4.1	Einfluß der Zeitverzögerung zwischen Rechnung und Baufertigstellung	325
6.2.4.1.4.2	Substitutionsbewegungen	327
6.2.4.1.4.3	Verbraucherreaktion	329
6.2.4.2	Heizkostenvergleich Erdgas - Nachtstrom	335
6.2.4.2.1	Sensitivitätsanalyse	335
6.2.4.2.2	Spannbreite der Heizkosten	337
6.2.4.2.3	Preisvarianten für den mittleren Haustyp (Basisfall)	337
6.2.4.2.4	Verbraucherentscheidung	344
6.2.4.2.4.1	Substitutionsbewegungen	344
6.2.4.2.4.2	Verbraucherreaktion	346
6.2.4.3	Heizkostenvergleich Erdgas - Koks	350
6.2.4.3.1	Sensitivitätsanalyse	351
6.2.4.3.2	Spannbreite der Heizkosten	351
6.2.5	Versorgungsgebiete mit dominierender Heizöl- versorgung	354
6.2.5.1	Heizkostenvergleich Nachtstrom - Heizöl	354
6.2.5.1.1	Sensitivitätsanalyse	354
6.2.5.1.2	Spannbreite der Heizkosten	354
6.2.5.1.3	Verbraucherentscheidung	362
6.2.5.1.3.1	Substitutionsbewegungen	362
6.2.5.1.3.2	Verbraucherreaktion	362
6.2.5.2	Heizkostenvergleich Koks - Heizöl	367
6.2.5.2.1	Sensitivitätsanalyse	367
6.2.5.2.2	Spannbreite der Heizkosten	367
6.2.5.2.3	Verbraucherentscheidung	371
6.2.5.3	Heizkostenvergleich Flüssiggas - Heizöl	371
6.2.5.3.1	Sensitivitätsanalyse	371
6.2.5.3.2	Spannbreite der Heizkosten	373
6.2.5.3.3	Verbraucherentscheidung	376
6.2.5.4	Heizkostenvergleich zwischen monovalenter Grund- wasser-Elektrowärmepumpe und Ölkessel	377



	Seite
6.2.5.4.1	Sensitivitätsanalyse 380
6.2.5.4.2	Spannbreite der Heizkosten 382
6.2.5.4.3	Dynamischer ex-ante Heizkostenvergleich 388
6.2.5.4.4	Bewertung der Wärmepumpe durch die Elektrizitätswirtschaft 391
6.2.5.4.5	Kostenbelastung der Haushalte 394
6.2.5.4.6	Verbraucherentscheidung 394
6.2.5.4.6.1	Substitutionsbewegungen 394
6.2.5.4.6.2	Verbraucherreaktion 396
6.2.5.5	Heizkostenvergleich zwischen bivalenter Außenluft-Elektrowärmepumpe und Ölkessel 400
6.2.5.5.1	Sensitivitätsanalyse 400
6.2.5.5.2	Spannbreite der Heizkosten 400
6.2.5.5.3	Dynamischer ex-ante Heizkostenvergleich 408
6.2.5.5.4	Bewertung der bivalenten Wärmepumpe durch die Elektrizitätswirtschaft 409
6.2.5.5.5	Kostenbelastung der Haushalte 411
6.2.5.5.6	Verbraucherentscheidung 412
6.2.5.5.6.1	Substitutionsbewegungen 412
6.2.5.5.6.2	Verbraucherreaktion 413
6.2.6	Versorgungsgebiete mit dominierender Fernwärmeversorgung 416
6.2.6.1	Heizkostenvergleich Fernwärme - Heizöl 416
6.2.6.1.1	Sensitivitätsanalyse 416
6.2.6.1.2	Spannbreite der Heizkosten 418
6.2.6.1.3	Verbraucherentscheidung 424
6.2.6.1.3.1	Substitutionsbewegungen 424
6.2.6.1.3.2	Verbraucherreaktion 424
6.2.6.2	Heizkostenvergleich Fernwärme - Erdgas 429
6.2.6.2.1	Sensitivitätsanalyse 429
6.2.6.2.2	Spannbreite der Heizkosten 429
6.2.6.2.3	Bewertung der Vergleichssysteme durch die Gaswirtschaft 439
6.2.6.2.4	Verbraucherentscheidung 439
6.2.6.2.4.1	Substitutionsbewegungen 439
6.2.6.2.4.2	Verbraucherreaktion 441
6.2.6.3	Heizkostenvergleich Fernwärme - Nachtstrom 444
6.2.6.3.1	Sensitivitätsanalyse 444
6.2.6.3.2	Spannbreite der Heizkosten 444
6.2.6.3.3	Verbraucherentscheidung 452
6.2.6.3.3.1	Substitutionsbewegungen 452
6.2.6.3.3.2	Verbraucherreaktion 452
	Schrifttum 457
7.	Zusammenfassung 462





## 1. Einführung

### 1.1 Problemstellung und Ziel der Arbeit

Die Raumwärmeversorgung der Haushalte in der Bundesrepublik Deutschland läßt sich in der Nachkriegszeit durch drei Phasen des Strukturwandels kennzeichnen. Die Veränderungen beziehen sich sowohl auf die Energieträger als auch auf die Heizungstechnik.

Die erste Phase (1960 - 1972) ist heizungstechnisch charakterisiert durch den Übergang von Einzelheizungen auf Zentralheizungen. Energieträgerbezogen erfolgt in diesem Zeitraum die Verdrängung der bedienungsunfreundlichen Kohle durch das preiswerte, bequeme Heizöl.

Die zweite Phase beginnt mit der ersten Ölpreiskrise 1973/74. Nunmehr ist das erheblich verteuerte Heizöl der Verdrängung durch Erdgas und andere Energieträger ausgesetzt, während die Zentralheizungssysteme sich am Markt stabilisieren.

Die dritte Phase, die durch die zweite Ölpreiskrise 1978/80 ausgelöst wurde, ist nach wie vor durch eine Verdrängung des Heizöls geprägt. Aus heizungstechnischer Sicht beginnt jedoch die Markteindringung neuer Wärmeerzeuger, die besonders günstige Einsatzbedingungen im Niedertemperaturbereich finden (Vorlauftemperatur der Heizungsanlage  $< 75^{\circ}\text{C}$ ).

Im Blickpunkt dieser Arbeit steht der Zeitraum 1972 - 1984, der durch die beiden Ölpreiskrisen geprägt wurde. Resultat dieser Preiskrisen waren Verschiebungen der Preisrelationen der konkurrierenden Energieträger bei gleichzeitigem Anstieg des Energiepreisniveaus. Unter diesen Gesichtspunkten kommt sowohl der Energieträgerwahl als auch der Berücksichtigung effizienter Heiztechnik eine ständig steigende Bedeutung zu, wenn unterstellt wird, daß die Haushalte ihren erreichten Lebensstandard nicht einseitig zugunsten der Energiekosten verändert sehen wollen.

Es ist Ziel dieser Arbeit zu untersuchen, ob die veränderte Einstellung bei der Wahl von Heizsystemen primär auf ökonomische Einflüsse zurückzuführen ist. Die Grundhypothese des ökonomischen Handelns unterstellt rational geplante Entscheidungen. Welche Kriterien innerhalb des rationalen Entscheidungsraumes ausschlaggebend waren, läßt sich nur bei umfassender Analyse des gesamten Planungsspektrums feststellen. Im Hinblick auf die Beschaffung von Raumheizanlagen bedeutet dies die Berücksichtigung und Anwendung der Methoden, die zur technischen Auslegung, zur Betriebsanalyse bzw. zur Erarbeitung eines ökonomischen Werturteils führen. Auf der Basis grundlegender Analysen des Entscheidungsraumes gilt die besondere Aufmerksamkeit

- der Substitution konventioneller Heizsysteme untereinander (Öl-, Gas- und Koksessel sowie Fernwärmeheizung und Nachtspeicheröfen),
- der Beurteilung energiesparender, innovativer Heizsysteme (Wärmepumpen).

Im folgenden wird die Beschaffungsentscheidung in den Haushalten weiter vertieft, die gewählte Vorgehensweise sowie die Einordnung dieser Arbeit im Vergleich zu anderen erläutert.

## 1.2 Die Wahl von Heizsystemen - eine rationale Beschaffungsentscheidung der Haushalte?

Die klassische Haushaltstheorie unterstellt für den Nachfrageakt das Prinzip der Nutzenmaximierung, d. h. der Käufer wird mit seinem vorhandenen Mittelbestand versuchen, einen maximalen Erfolg zu erzielen. Unter zwei gleichwertigen Angeboten wird er also das günstigste auswählen (ökonomisches Prinzip oder Rationalprinzip). Die Anwendung des Rationalprinzips setzt voraus, daß der Käufer vollkommene Markttransparenz besitzt und souverän entscheiden kann /1.2, 1.4 - 1.8/.

Um bei der Wahl von Heizsystemen souverän entscheiden zu können, benötigte der Käufer eine Vielzahl von Einzelinformationen /1.1, 1.34 - 1.38/:

a) Funktionelle Anforderungen:

- jederzeit ausreichende Wärmeversorgung,
- gesicherte Versorgung,
- einfache Handhabung und sichere, problemlose Unterbringung,
- geringer Platzbedarf,
- guter Kundendienst, schnelle Erledigung von Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten,
- problemlose Brennstoff- und Energiebeschaffung,
- geringe Störanfälligkeit,
- keine Belästigung durch Schmutz, Lärm, Geruch.

b) Rein personenbezogene Wünsche:

- freie Energieträgerwahl,
- Unabhängigkeit,
- Anerkennung,
- Prestige,
- Freude an der Technik,
- soziales Ansehen,
- Bequemlichkeit,
- Umweltbewußtsein.

c) Einzelwirtschaftliche Anforderungen:

- niedrige, verbrauchsabhängige Kosten,
- geringe Nebenkosten,
- verbrauchsgerechte Messung und Abrechnung,
- niedrige Investitionskosten,
- hohe Lebensdauer der Anlage,
- niedrige Instandhaltungs- und Wartungskosten.

d) Gesamtwirtschaftliche Anforderungen:

- Preiswürdigkeit,
- Versorgungssicherheit,
- Umweltverträglichkeit,
- Sozialverträglichkeit,
- Einflüsse auf die Handelsbilanz,
- Importabhängigkeit.

Auch wenn der Käufer infolge unvollkommener Information nur einen Teil des Angebots als für ihn relevant betrachtet /1.7 - 1.8/, wird er in der Regel vor einem Entscheidungsproblem stehen, da er über Alternativen zu befinden hat. Dieses Problem ist nicht unerheblich, da es sich bei einem Heizsystem um ein langlebiges, hochwertiges und teilweise kompliziertes Produkt handelt, für dessen Beschaffung Routine nicht vorausgesetzt werden kann.

Offenbar wird das aufgrund erhöhter Unsicherheit sich einstellende Risiko der Fehlentscheidung bei der Wahl vom Heizsystem hoch eingeschätzt. Aus Befragungen ist bekannt, daß Architekten 1972 zu gut 75 % bei der erstmaligen Installation einer Heizungsanlage in Wohnneubauten bei der Entscheidung beraten haben oder sogar die Entscheidung übernahmen /1.10/. Dagegen ist der Einfluß der Architektenberatung bei der Beratung von Umstellern mit 27 % weitaus geringer. Während der Umsteller sich ganz auf diese Entscheidung konzentrieren kann, Erfahrungen mit einer Heizungsanlage gesammelt hat, tritt der Neubauer, häufig ohne Erfahrungen über den Betrieb einer Heizungsanlage, innerhalb der vielen zu treffenden Entscheidungen beim Hausbau die Wahl des Heizungssystems offenbar bereitwillig an den Fachmann ab. Häufig ist es auch wohl so, daß der Entscheidungsprozeß schon gefallen ist, wenn der Käufer sich für das Projekt entscheidet (schlüsselfertige Häuser).

Neuere Befragungen aus den Jahren 1981/82 zeigen, daß sich daran nicht viel geändert hat /1.9/. Die beratenden Fachleute haben natürlich bessere Marktkenntnisse als der Bauherr und setzen sich häufig mit Wirtschaftlichkeitsrechnungen auseinander.



der bzw. werden bei der Wahl von Heizungssystemen in ihrer Tätigkeit durch Wirtschaftlichkeitsrechnungen von speziellen Planungsbüros, übergeordneten Verbänden und Energieversorgungsunternehmen unterstützt. Diese Bauexperten geben daher auch an, daß sich ihrer Meinung nach Bauherren überwiegend nach ökonomischen Kriterien entscheiden. Die danach befragten Bauwilligen bestätigen dies, wenn auch in etwas geringerer Ausprägung, als die Bauexperten vermuten /1.11/.

Bezogen auf konventionelle Heizsysteme in Neubauten läßt sich feststellen, daß die Beschaffungsentscheidung signifikant fremdbestimmt ist. Die in weiten Grenzen neutralen Entscheider konnten sich dabei wegen ihrer guten örtlichen Kenntnisse auf nahezu vollkommene Information stützen. Die Hypothese der rationalen Entscheidung wird dadurch zumindest für die Beschaffung konventioneller Systeme gestützt /1.12/.

Bei innovativen Systemen, wie Wärmepumpen und Solaranlagen, ist die Beratungssituation offenbar etwas anders zu beurteilen. So ist aus einer Befragung über die Beratung beim Kauf von Solaranlagen bekannt, daß die Rolle des neutralen Gutachters (Architekten) mit ca. 10 % relativ unbedeutend ist /1.13/. Die Hauptberatung wird hier von Interessenvertretern übernommen (Handwerker - 44 %, Hersteller - 24 %, Messen und Ausstellungen - 10 %). Aufgrund ihres Interesses, verkaufen zu wollen, dürften sie kaum im Sinne einer umfassenden Vergleichbarkeit informieren /1.14/. Für die von Innovatoren gekauften Systeme ist demnach die Anwendung des Rationalprinzips zweifelhafter als bei konventioneller Heiztechnik.

### 1.3 Eingrenzung der Entscheidungsvarianten

Eine grundlegende Voraussetzung bei der Untersuchung der Wahl von Heizsystemen ist, ob es sich um die Versorgung von selbstgenutztem Wohneigentum oder Mietwohnraum handelt. Da die Entscheidungsvoraussetzungen für diese Einsatzbereiche, vor allem

im Hinblick auf energiesparende Systeme, sehr unterschiedlich sind, wird nur der Fall betrachtet, in dem Nutzer und Investor identisch sind. Dies ist überwiegend bei der Wahl von Heizsystemen für Ein- und Zweifamilienhäuser der Fall, deshalb beschränkt sich die Untersuchung auf diesen Haustyp.

Wie vorher gezeigt wurde, ist es weiterhin wichtig, ob es sich um eine Erstinvestition oder die Umstellung einer bestehenden Anlage handelt. Da über Umstellungen von Heizanlagen keine belastbaren Daten zur Verfügung standen, kann lediglich der Neubaufall weiter verfolgt werden.

Versteht man unter Heizsystem sowohl heizungstechnische Komponenten als auch das Gebäude, so bestimmen folgende Elemente die Qualität der Wärmeversorgung:

1. Erhöhter Wärmeschutz des Gebäudes
2. Energieträger
3. Wärmeerzeuger
4. Wärmeverteilung

Der Anstoß zu verbesserter Wärmedämmung gegenüber den Mindestforderungen der DIN 4108 "Wärmeschutz im Hochbau" ging Anfang der sechziger Jahre von den Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen aus, die im Neubau diese Maßnahme forderten, um durch Reduzierung der Energieverbräuche den relativ teuren Nachtstrom wettbewerbsfähig zu machen /1.15-1.16/. In einzelnen Fachveröffentlichungen gab es Ende der sechziger und in den siebziger Jahren eine Forderung des verbesserten (optimalen) Wärmeschutzes auch bei Einsatz nichtelektrischer Heizsysteme /1.18-1.20, 1.42-1.43/.

In der Entscheidungspraxis des Architekten bzw. des Bauherrn war die Wahl des Heizsystems dagegen etwa bis heute eine Wahl des Energieträgers bzw. Wärmeerzeugers. Für die Nichtberücksichtigung des optimalen Wärmeschutzes spricht, daß

- neue Baustoffe benötigt wurden, über die noch keine oder unzureichende Anwendungserfahrungen vorlagen /1.44/,

- Architekten ihren gestalterischen Freiraum eingeengt sahen /1.45/,
- Architekten zum Teil Wärmebedarfsrechnungen an Heizungsfirmen oder Planungsbüros vergeben. Dadurch konnte kein Gefühl für Schwachstellen in der Energiebilanz eines Gebäudes entwickelt werden bzw. dafür, an welchen Stellen sich zusätzliche Maßnahmen besonders rentabel gestalten,
- aus Industriekreisen der erhöhte Wärmeschutz als "unnötig, unpraktikabel und kostensteigernd" abqualifiziert wurde /1.46/,
- die DIN 4108 "Wärmeschutz im Hochbau" veraltet war. Es fehlten Angaben für neue Baustoffe, Aussagen zum klimabedingten Feuchteschutz sowie eine Festlegung einheitlicher Berechnungsverfahren /1.40-1.41/.
- in einer von der Bundesarchitektenkammer geförderten "Praxisinformation Energieeinsparung" festgestellt wird: "Aus fachlicher Sicht ist ein erhöhter Wärmeschutz unproblematisch, verlangt jedoch bauphysikalische Kenntnisse, die oft über die Lehrinhalte an den Architekturausbildungsstätten hinausgehen" /1.39/,
- mit der VDI 2067 "Wirtschaftlichkeitsberechnungen von Wärmeverbrauchsanlagen", die üblicherweise von Baufachleuten zum Kostenvergleich verschiedener Heizsysteme herangezogen wird, energiesparende Maßnahmen nicht ausreichend genau bewertet werden konnten /1.25-1.27/,
- Kesselhersteller keine Heizkessel bzw. Brenner für kleine Heizleistungen herstellten /1.21-1.24/.
- Heizkostenvergleiche mit Breitenwirkungen sich auch noch nach der 2. Ölpreiskrise am geforderten Mindestwärmeschutz orientierten /1.28-1.30/.

Aus diesen Gründen wird die Wahl des Heizsystems in der späteren empirischen Analyse so untersucht, wie sie sich in der Praxis offensichtlich gestellt hat, nämlich ohne Berücksichtigung der Kosten eines erhöhten Wärmeschutzes, lediglich bei Stromheizungen werden die Auflagen der Elektrizitätswirtschaft berücksichtigt /1.31/.

Für die geringe Bedeutung der Wärmeverteilung als eigenständiges Problemfeld spricht, daß lange Zeit fast ausschließlich Pumpen-Warmwasserverteilungen im Hochtemperaturbereich (90/70 °C) installiert wurden /1.32/. Mit dem Aufkommen der Fußbodenheizungen und durch Konstruktion korrosionsbeständiger Kessel gewinnt die Niedertemperaturheiztechnik an Bedeutung. Auf den gesamten Betrachtungszeitraum (1972 - 1984) bezogen, ist der Anteil relativ gering, so daß als Basissystem der Wärmeverteilung eine 90/70 °C-Warmwasserverteilung zugrunde gelegt wird. Beim Einsatz von Wärmepumpen, die aus thermodynamischen Gründen geringere Vorlauftemperaturen benötigen, werden davon abweichende Annahmen getroffen.

Um für alle Systeme einheitliche Voraussetzungen zu schaffen, wird nur die reine Raumwärmeerzeugung untersucht, die gekoppelte Wärmeerzeugung für Heizung und Brauchwasser bleibt daher unberücksichtigt.

Im Rahmen der heizungstechnischen Betrachtung bleiben weiterhin Solaranlagen außer Betracht, da sie nur geringe Marktbedeutung erlangt haben und zuverlässige Daten nicht verfügbar waren.

#### 1.4 Einordnung der Arbeit und Vorgehensweise

Das Problem der Beschaffungsentscheidung bei der Wahl von Heizsystemen wurde in ingenieurwissenschaftlichen Arbeiten bisher lediglich unter dem Aspekt gesehen, wie ein Verbraucher sich aufgrund der gestellten Anforderungen entscheiden sollte. Bisher wurde nicht untersucht, welche Diskrepanzen es zwischen der tatsächlichen (Ist-Entscheidung) und der als sinnvoll betrachteten Entscheidung (Soll-Entscheidung) gab /1.28, 1.33, 1.34 - 1.38/. Die Betrachtungsweise war entweder rein statistisch auf den Zeitpunkt der Gegenwart bezogen oder aber von der Gegenwart in die Zukunft gerichtet (ex-ante Analyse).



Dies führte z. B. bei der Erstellung von Prognosen zu Schwierigkeiten, die zukünftige Entwicklung des Energieverbrauchs der Haushalte plausibel zu machen, weil es keine Kriterien gab, zwischen der Einschätzung des technisch Machbaren und der sich vermutlich einstellenden Entwicklung in erster Näherung zu differenzieren /1.47/.

In der vorliegenden Arbeit wird nun erstmals auf ingenieurwissenschaftlicher Basis in einer Betrachtung der Vergangenheitsentwicklung (ex-post Analyse) der Versuch unternommen, die Entscheidung für Heizsysteme im Soll-Ist-Vergleich transparent zu machen.

Jeder dieser Schritte wird unter dem Aspekt der Umsetzung der wichtigsten Einflußgrößen durch in der Praxis vereinbarte bzw. vorgeschriebene Methoden untersucht, um so den Entscheidungsraum des Planers transparent zu machen.

Für den Zeitraum 1972 - 1984 werden die Entscheidungsgrundlagen analysiert, die bei rationaler Entscheidungsfindung herangezogen werden müssen:

1. Berechnung des Wärmebedarfs (Kap. 3)
2. Vorausschätzung des Energieverbrauchs (Kap. 4)
3. Wahl des Verfahrens zur Wirtschaftlichkeitsberechnung und Bestimmung der Eingabewerte (Kap. 5)

In Kapitel 6 erfolgt eine Analyse der vollzogenen Entscheidung für Heizsysteme. Grundlage sind ausgewertete Totalerhebungen des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes, Essen. Danach werden typische Versorgungssituationen definiert, die die Wahlmöglichkeiten des Entscheiders berücksichtigen.

Zur Untersuchung dieser Heizungsstrukturen wird eine Methode entwickelt, die es gestattet, die Güte der Korrelation zwischen der tatsächlichen Entscheidung und der zu fordernden Entscheidung aus Heizkostenvergleichen zu bewerten. Als Maßstab dient

zum einen eine alleinige Einbeziehung der Energiekosten, während zum anderen alle Kostenelemente (gesamte Heizkosten) berücksichtigt werden, so daß von der ökonomischen Bewertung ein breites Spektrum abgedeckt wird. Zur Auslotung der Spannbreite innerhalb dieser Kriterien werden in Sensitivitätsanalysen die wichtigsten Einflußgrößen herauskristallisiert. Daraus werden optimistische, mittlere und pessimistische Varianten für die Einschätzung der Kostenrelationen zwischen jeweils zwei Heizsystemen erarbeitet.

Nach Darlegung der Entscheidung bei der Wahl von Heizsystemen sowie des Entscheidungsraumes im untersuchten Versorgungsgebiet werden beide Kriterien in graphischer Auswertung gegenübergestellt.

Mit Hilfe von Reaktionsparametern (Wachstumsraten der Marktanteile im direkten Vergleich zweier Heizsysteme sowie Wachstumsraten der Kostenrelationen dieser Vergleichssysteme) wird zunächst hypothesenartig der Zusammenhang zwischen Kostenentwicklungen und Wahlentscheidung geprüft. Durch anschließende Gegenüberstellung der Energiekosten bzw. gesamten Heizkosten mit der vollzogenen Entscheidung erhält man Aufschluß, welches dieser beiden Kalküle eine ökonomisch orientierte Wahl stärker beeinflußt hat.

Diesen Betrachtungen wird im Kapitel 2 die Entwicklung der Energiewirtschaft in den Jahren 1972 - 1984 vorangestellt. Sie gibt einen Überblick über das Investitionsklima in diesem Zeitraum und zeigt zugleich die aus den energiewirtschaftlichen Spannungen erwachsenen Maßnahmen für die Heizungstechnik auf.

## Literatur

- /1.1/ Deutscher Bundestag,  
Zukünftige Kernenergie-Politik,  
Zur Sache 1/80, Bonn 1980, S. 26
- /1.2/ H. W. Mayer-Tischer,  
Überlegungen beim Autokauf,  
Hauswirtschaftliche Bildung
- /1.3/ Verbändekonsortium,  
Parameterstudie "Örtliche und regionale  
Versorgungskonzepte",  
vorläufige Fassung, Bd. A 2, o. Datum, S. 57
- /1.4/ H. Luckenbach,  
Theorie des Haushalts,  
Göttingen, 1978, S.17
- /1.5/ G. Gäfgen,  
Theorie der wirtschaftlichen Entscheidung,  
Tübingen, 1974, S. 18
- /1.6/ G. Katona,  
Das Verhalten der Verbraucher und Unternehmer,  
Tübingen, 1960, S. 73
- /1.7/ U. Beier,  
Zum Einfluß beschränkter Markttransparenz auf  
die Kaufentscheidungen der Privathaushalte,  
Hauswirt. Wiss. 27 (1979), Heft 3, S. 108
- /1.8/ U. Beier,  
Kaufentscheidungen beschränkt rational  
handelnder Konsumenten,  
Meisenheim, 1974, S. 21
- /1.9/ E. Gruber, T. Meyer,  
Energiesparende Innovationen  
im Eigenheim,  
Köln, 1983, S. 34
- /1.10/ Information Erdgasheizung,  
Daten, Fakten, Fälle (74/1),  
Essen, 1974, S. 13
- /1.11/ E. Gruber, T. Meyer,  
a.a.O., S. 39
- /1.12/ P. H. Suding,  
Ökonomische Ansätze zur Analyse  
des Energieverbrauches der Haushalte  
für Raumwärmezwecke,  
München, 1984, S. 7

- /1.13/ G. Keller, J. Uhlig,  
PESA-Praktische Erfahrungen  
mit bestehenden Solaranlagen,  
Karlsruhe, 1980, S. 29
- /1.14/ G. Keller, J. Uhlig,  
a.a.O., S. 30
- /1.15/ E. Jacobi,  
Elektrische Schwachlastheizung in Mehrfamilien-  
häusern des sozialen Wohnungsbaues,  
Energiewirtschaftliche Tagesfragen 18 (1968),  
Heft 6, S. 203
- /1.16/ B. Stoy,  
Wirtschaftlichkeit der elektrischen Wärmespeicher-  
heizung im Wohnungsbau,  
Elektrizitätswirtschaft 63 (1964, H. 17, S. 614
- /1.17/ R. Schwedler,  
Vergleich verschiedener Heizsysteme und Energie-  
träger für Zentralheizungs- und Warmwasserberei-  
tungsanlagen,  
Wärme-, Klima- und Sanitärtechnik,  
1969, H. 9, S. 265
- /1.18/ Thyssengas AG,  
Heizkostenvergleich Wohnungsbau,  
Duisburg 1966, S. 5
- /1.19/ E. Postenrieder,  
Erhöhte Wirtschaftlichkeit der  
Heizung durch Wärmedämmung,  
Haustechn. Rundschau, 1973, H. 5, S. 141
- /1.20/ E. Jacobi,  
Heizung, Wärmedämmung und Warmwasserbereitung  
in Einfamilienhäusern bei verschiedenen Energie-  
arten,  
Energiewirtschaftliche Tagesfragen 16 (1966),  
Fachheft, S. 10
- /1.21/ L. Brenner,  
Mini-Ölbrenner auf dem Vormarsch,  
cci 3/1980, S. 22
- /1.22/ E. Marx,  
Ölbrenner für kleine Leistungen,  
Oel + Gasfeuerung 3/1980, S. 124
- /1.23/ H. Kostka, A. Michel,  
Kontinuierlich regelbares Heizölvergasungsbrenner-  
Kesselsystem für 1,5 bis 12 kW Heizleistung,  
HLH 33 (1982), Nr. 11, S. 379



- /1.24/ H. Kollmann,  
Markchancen von Gasheizsystemen im Wettbewerb  
mit den relevanten Alternativen,  
gwf-gas/erdgas 126 (1985), H. 5, S. 261
- /1.25/ VDI 2067,  
Wirtschaftlichkeitsberechnungen von Wärmever-  
brauchsanlagen, Blatt 1 + 2,  
Entwurf 1974,  
Berlin, Köln, 1974
- /1.26/ U. Andrea, D. Wolff,  
Einfluß regelungstechnischer Maßnahmen auf  
Kosten und Wirtschaftlichkeit von Heizanlagen,  
Teil 1, HLH 35 (1984), H. 2, S. 54
- /1.27/ H. Esdorn, G. Wentzlaff,  
Zur Berücksichtigung der Sonnenstrahlung  
bei der Berechnung des Jahreswärmeverbrauchs,  
HLH 32 (1981), Nr. 9, S. 358
- /1.28/ Fördergesellschaft Technischer Ausbau e. V.,  
Wärmepumpen zur Hausheizung,  
Bd. 2, Bonn, 1980
- /1.29/ Bundesverband der Deutschen Gas- und  
Wasserwirtschaft e. V.,  
Kosten der Raumheizung und Warmwasser-  
bereitung, Ausgabe 1981,  
Bonn, 1981
- /1.30/ Verband der Elektrizitätswerke  
Baden-Württemberg e. V.,  
Heizkostenvergleich 1983,  
Stuttgart, 1983
- /1.31/ Rheinisch-Westf. Elektrizitätswerk AG,  
RWE-Bauhandbuch 1981/82,  
Essen, 1981, S. 7
- /1.32/ Recknagel-Sprenger,  
Taschenbuch für Heizung und  
Klimatechnik 83/84,  
München, 1983, S. 336
- /1.33/ E. Höpfinger et al.,  
Bestimmungsgrößen des Raumheizungsbedarfs in  
Ein- und Zweifamilienhäusern in:  
Zur Einbettung der Energiewirtschaft in die  
Volkswirtschaft - vier dynamische Modelle -  
KFA Jülich GmbH, Jül-Spez-166,  
Jülich 1982, S. IV-10
- /1.34/ H. Blöhs,  
Wärmesysteme für Raumheizung  
im kritischen Vergleich,  
Elektrizitätswirtschaft 76 (1977),  
H. 17, S. 585

- /1.35/ G. Lüttringhaus,  
Einflußfaktoren bei der Wahl von  
Heizsystemen,  
Brennstoff-Wärme-Kraft 27 (1975),  
Nr. 7, S. 279
- /1.36/ Hauptberatungsstelle für  
Elektrizitätsanwendung e. V.,  
Elektrowärmemarkt im Wohnungsbau,  
Frankfurt, o. Datum
- /1.37/ J. Steiner et al.,  
Das bivalente Heizsystem,  
Akzeptanz, Erwartungen, Marktchancen,  
Energiewirtschaftliche Tagesfragen,  
26 (1976), H. 9, S. 495
- /1.38/ H. Pabst,  
Grundsätze für den Wirtschaftlichkeitsvergleich  
stark unterschiedlicher Beheizungen, z. B. einer  
Warmwasserzentralheizung und einer elektrischen  
Speicherheizung,  
Energiewirtschaftliche Tagesfragen  
16 (1968), H. 11, S. 565
- /1.39/ Bundesminister für Raumordnung,  
Bauwesen und Städtebau,  
Praxisinformation Energieeinsparung,  
Nr. 04.093, Bonn 1983
- /1.40/ DIN 4108,  
Wärmeschutz im Hochbau,  
Ausgabe 1969,  
Berlin, Köln, 1969
- /1.41/ M. Lüchner,  
Wärmeschutz bei Gebäuden wird neu gefaßt,  
Elektrowärme international 40 (1982),  
S. A. 21
- /1.42/ H. Werner, K. Gertis,  
Wirtschaftlich optimaler Wärmeschutz  
von Einfamilienhäusern: kritische Gedanken  
zu Optimierungsrechnungen,  
Teil 1 und 2,  
Gesundheitsingenieur, 1976, H. 1/2  
und 5
- /1.43/ H. Hebgen,  
Neuer baulicher Wärmeschutz,  
Braunschweig, 1978
- /1.44/ E. Schild et al.,  
Bauphysik,  
Braunschweig, o. Datum

- /1.45/ Institut für Bauforschung e. V, Hannover,  
Wärmeschutz und Architektur,  
Deutsches Architektenblatt,  
Sonderdruck der Ausgaben 2/80 und 3/80
- /1.46/ o. Verfasser,  
Unnötig, unpraktikabel und kostensteigernd:  
Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden,  
11. Bauindustriebreif (1975), S. 11
- /1.47/ Prognos,  
Energieprognose,  
Stuttgart, 1984, S. 169

## 2. Energiewirtschaftliche Rahmenbedingungen bei der Wahl von Heizsystemen

Zunächst werden die eingangs genannten Störungen der energiewirtschaftlichen Entwicklung aufgezeigt. Sie können als Barometer des Investitionsklimas bei der Beschaffung von Heizsystemen angesehen werden. Daraus resultierende Maßnahmen, die den Beschaffungsraum direkt beeinflußt haben, schließen sich an.

### 2.1 Entwicklung der energiewirtschaftlichen Gesamtsituation

Bis zur Mitte der fünfziger Jahre war die Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland ein nationales Anliegen, das vorwiegend durch die Kohlewirtschaft erfüllt wurde. Das starke Aufkommen billigen Erdöls führte zur ersten Krise, der Kohleabsatzkrise. Kohle wurde schnell durch Öl substituiert, daran hatten auch die Haushalte ihren Anteil. Während diese Krise eine Überschußkrise war, gab es bereits erste Anzeichen einer Energielücke, die der Kernenergie Auftrieb gaben /2.1/. Anfang 1970 wurde der interessierten Öffentlichkeit das Problem erschöpflicher Ressourcen durch den Bericht "Grenzen des Wachstums" des Club of Rome bewußt gemacht /2.2/. Die Entwicklung des Energiebedarfs der Bundesrepublik Deutschland schien dagegen grenzenlos zu sein, für das offensichtlich exponentielle Wachstum wurden nunmehr neben Öl verstärkt Erdgas und Kernenergie eingesetzt. Erst mit der ersten Ölpreiskrise 1973/74 war den Trägern der Energiepolitik klar geworden, daß aus einer nationalen Aufgabe ein internationales Problem geworden war. Da die Energiewirtschaft auf derartige Krisen nicht vorbereitet war, hatte das Problem der Versorgungssicherheit höchste Priorität. Der starke Anstieg der Heizkosten als Folge gestiegener Ölpreise hatte direkte Einwirkung auf die Haushalte, auch volkswirtschaftlich mußte eine außerordentliche Belastung durch Ungleichgewichte der Leistungsbilanz befürchtet werden.

Mit Schaffung einer Krisenvorsorge und durch offensichtlich schnell verkraftete Kostenprobleme hatte der angestrebte Strukturwandel der Energiewirtschaft an Antriebskraft verloren. Durch Aufkommen der Bürgerinitiativen ging die Aufmerksamkeit zudem in eine andere Richtung, das Akzeptanzproblem der Kernenergie reihte sich in den Problemkreis der Energieversorgung ein /2.3-2.6/.

Die Mehrfacherhöhungen des Ölpreises in den Jahren 1978 - 1981 rückten wohl erstmals echte ökonomische Probleme durch die Abhängigkeit von diesem nach wie vor dominierenden Energieträger in den Vordergrund, ehe das drohende Waldsterben das Umweltproblem der Energieversorgung als nationale und internationale Aufgabe von höchster Bedeutung kennzeichnete.

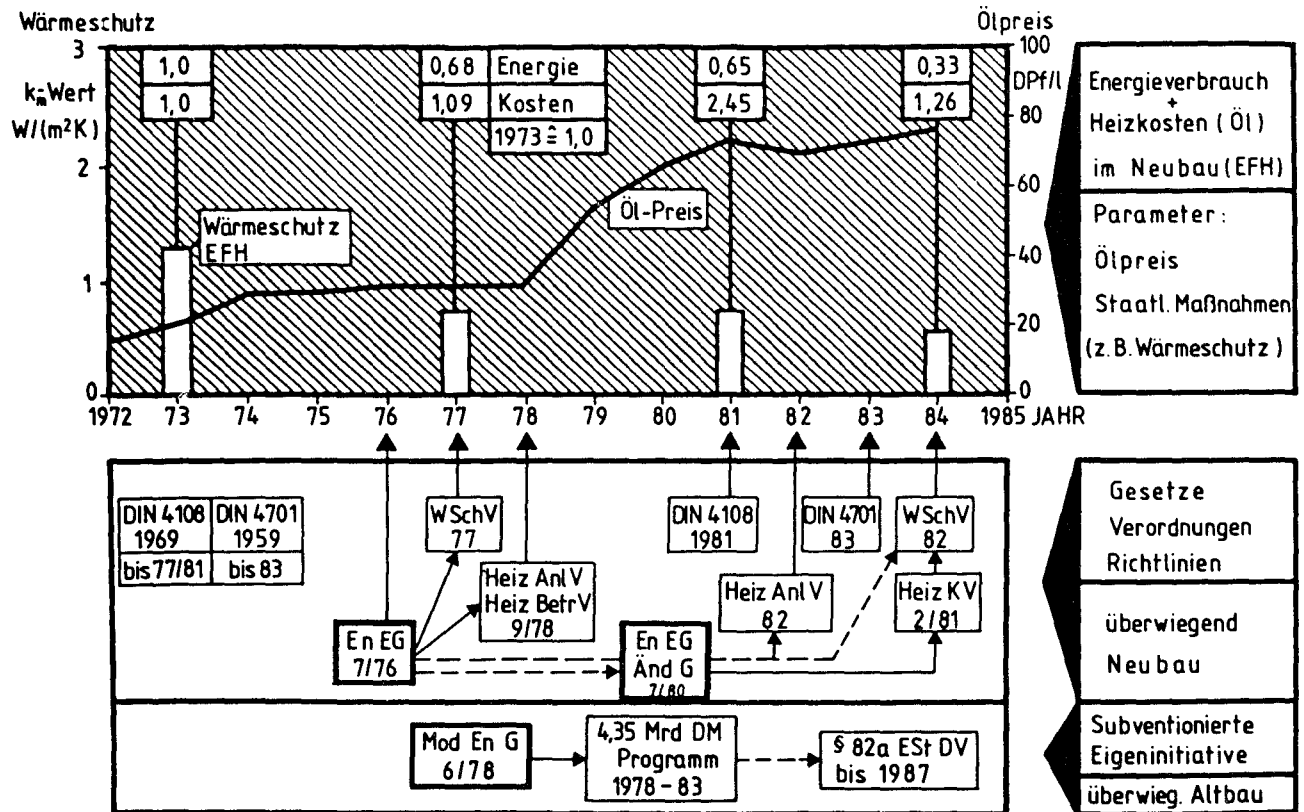
## 2.2 Energiepolitische Maßnahmen unter besonderer Berücksichtigung der privaten Haushalte

Energiepolitische Folge der skizzierten Probleme der Energieversorgung war das Energieprogramm der Bundesregierung von 1973 mit seinen bisher 3 Fortschreibungen /2.7-2.10/.

Für die Wirkung auf den Verbraucher ein wichtiges Signal war die Politik des "Weg vom Öl". Mit der zweiten und dritten Fortschreibung des Energieprogramms, mit denen die Bundesregierung Folgen aus den Krisen zieht, erhält die rationelle und sparsame Energieverwendung besondere Bedeutung.

Das Bild 2.1 zeigt in zweigeteilter Form die Ölpreisentwicklung, die Auswirkungen der Ölpreiskrisen auf den Energieverbrauch und die Brennstoffkosten (oberes Diagramm) sowie die im Zeitraum 1972 - 1984 wirksam gewordenen Maßnahmen (untere Hälfte). Besonders im Bereich der Wärmedämmung von Gebäuden hat der Staat wichtige Maßnahmen ergriffen, um den Schritt zu rationaler Energieverwendung über Gesetze zu beschleunigen bzw. durch Kapitalhilfe zu fördern. Sowohl das Energieeinsparungsgesetz (EnEG) als auch das Gesetz zur Änderung des Wohnungsmodernisierungsgesetzes (ModEnG) sind deutlich erkennbare Reaktionen auf die erste Ölpreiskrise /2.11, 2.12/.





#### Erläuterungen zu den Abkürzungen in Bild 2.1

- 1) DIN 4108 - Wärmeschutz im Hochbau, Ausgabe 1969  
- desgl., Ausgabe 1981
- 2) DIN 4701 - Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden, Ausgabe 1959  
- desgl., Ausgabe 1983
- 3) EnEG - Energieeinsparungsgesetz, Juli 1976  
- Änderungsgesetz, Juli 1980
- 4) WSchV - Wärmeschutzverordnung, August 1977  
- Novelle 1982
- 5) HeizAnlV - Heizungsanlagen-Verordnung, September 1978  
- Novelle 1982
- 6) HeizBetrV - Heizungsbetriebs-Verordnung, September 1978
- 7) HeizKV - Heizkosten-Verordnung, Februar 1980
- 8) ModEnG - Gesetz zur Änderung des Wohnungsmodernisierungsgesetzes, Juni 1978
- 9) EStDV - Einkommensteuer-Durchführungsverordnung
- 10) EFH - Einfamilienhaus
- 11)  $k_m$ -Wert - Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient der Außenhülle eines Hauses, Berechnung nach Wärmeschutzverordnung

Bild 2.1: Energieverbrauch und Heizkosten (Öl) in einem Neubau-Einfamilienhaus (obere Grafik) im Rahmen steigender Ölpreise und staatlicher Maßnahmen (untere Grafik). Werte für 1973 sind gleich 1 gesetzt

Die durch das Energieeinsparungsgesetz eingeleiteten, erhöhten Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden verschärften die bis dahin geltenden Bestimmungen der DIN 4108/69 /2.13/. Die erste Wärmeschutzverordnung (WSchV) vom 11.08.1977 bezog sich zunächst nur auf die Verminderung der Wärmeverluste in Neubauten, ehe mit der Novellierung vom 24.2.1982 auch bauliche Veränderungen bestehender Gebäude in die Vorschrift einbezogen wurden /2.14, 2.15/.

Die in den Rechtsverordnungen genannten Anforderungen müssen für den Nutzer wirtschaftlich vertretbar sein. Dies ist dann gegeben, wenn generell die erforderlichen Aufwendungen innerhalb der üblichen Nutzungsdauer durch die eingetretenen Einsparungen erwirtschaftet werden können /2.16/.

Gleichen Ursprungs sind die Heizungsanlagen-Verordnung (HeizAnlV) sowie die Heizungsbetriebs-Verordnung (HeizBetrV). Die erste Heizungsanlagen-Verordnung vom 22.9.1978 bezog sich zunächst ebenfalls vorrangig auf Neubauten, bereits bestehende Heizungsanlagen mußten jedoch dann in die Vorschriften einbezogen werden, wenn sie ersetzt, erweitert oder umgerüstet wurden /2.16/. Die zweite Heizungsanlagen-Verordnung vom 24.2.1982 gilt dagegen für Neu- und Altbauten /2.17/. Für Anlagen mit einer Nennwärmeleistung ab 4 kW (Schwerpunkt Zentralheizungen) beziehen sich die Anforderungen auf:

1. den Wirkungsgrad, die Auslegung und die Leistungsaufteilung der Wärmeerzeuger,
2. die Ausbildung interner Verteilungsnetze,
3. die Begrenzung der Brauchwassertemperatur,
4. die Regelung und Steuerung der Wärmeversorgungssysteme,
5. den Einsatz von Wärmerückgewinnungsanlagen
6. die meßtechnische Ausstattung zur Verbrauchserfassung,
7. weitere Eigenschaften der Anlagen und Einrichtungen, soweit dies im Rahmen der Zielsetzung des Absatzes I auf Grund der technischen Entwicklung erforderlich wird.

Schon in der ersten Fassung der Heizungsanlagen-Verordnung war der Wärmeerzeuger auf den Wärmebedarf nach DIN 4701 "Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden" auszulegen /2.18/. Während zunächst Zuschläge für die Brauchwassererwärmung zulässig waren, erlaubt die zweite Fassung dies nur noch, wenn diese Anlagen tatsächlich der Brauchwassererwärmung dienen und eine höchste nutzbare Leistung von 20 kW nicht überschritten wird. Hatte die DIN 4701 (Ausgabe 1959) noch reichlich Reserven zur Bemessung dieser höchsten nutzbaren Leistung (Auslegungsleistung), so brachte die DIN 4701 (Ausgabe 1983) erhebliche Reduzierungen im Sinne einer knappen, energiesparenden Bemessung des Wärmeerzeugers /2.19, 2.20/.

Die Heizungsbetriebs-Verordnung vom 22.9.1978 gilt sowohl für neue als auch für bestehende Anlagen ab 11 kW (Schwerpunkt wiederum Zentralheizungen) /2.21/. Sie stellt Anforderungen an die Abgasverluste von Wärmeerzeugern gestaffelt nach Leistung und nach dem Zeitpunkt der Installation. Weiterhin wird regelmäßige Wartung der Heizungsanlagen und sachkundige Instandhaltung verlangt.

Das Änderungsgesetz zum Energieeinspargesetz (EnEG, ÄndG) ist Initiator der Heizkosten-Verordnung (HeizKV), die sowohl eine verursachergerechtere Abrechnung als auch energiesparende Wirkung bringen soll /2.22, 2.23/.

Um auch Althausbesitzern vermehrt Impulse zur rationellen Energieverwendung zu geben, wurde das Gesetz zur Änderung des Wohnungsmodernisierungsgesetzes vom 27.6.1978 beschlossen. Durch das Gesetz wurden in den Jahren 1978 bis 1982 mit ca. 4.35 Mrd. DM folgende Maßnahmen gefördert:

- wesentliche Verbesserung der Wärmedämmung von Fenstern, Außentüren, Außenwänden, Dächern, Kellerdecken und obersten Geschoßdecken,
- wesentliche Verminderung des Energieverlustes und des Energieverbrauchs der zentralen Heizungs- und Warmwasseranlagen,

- Änderung von zentralen Heizungs- und Warmwasseranlagen innerhalb des Gebäudes für den Anschluß an die Fernwärmeversorgung, die überwiegend aus Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung, zur Verbrennung von Müll oder zur Verwertung von Abwärme gespeist wird,
- Rückgewinnung von Wärme,
- Nutzung von Energie durch Wärmepumpen- und Solaranlagen.

Zur Förderung der energiesparenden Maßnahmen wurden in der Regel einmalige Zuschüsse gewährt, die 25 % der förderungsfähigen Investitionen nicht überschreiten durften. Die förderbaren Kosten mußten sich mindestens auf 4 000 DM je Gebäude belaufen und durften - auf den Zeitraum von fünf Jahren bezogen - den Betrag von 12 000 DM nicht übersteigen. Zur Gewährung der Fördermittel mußten bestimmte Voraussetzungen vorliegen. Anstelle der Zuschußförderung konnte eine Steuervergünstigung nach § 82 a Einkommenssteuer-Durchführungsverordnung (EStDV) geltend gemacht werden. Mit dem vorwiegend für den Altbau bestand konzipierten Programm konnten jedoch auch energiesparende Heiztechniken im Neubaubereich gefördert werden /2.24/.

Eine zunächst geplante Verlängerung des Programms gab es nicht, jedoch wurden für einen reduzierten Empfängerkreis weiterhin Steuervorteile nach § 82 a EStDV für den Einbau neuer Technologien und den Anschluß an die Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung gewährt /2.25/.

In der oberen Grafik des Bildes 2.1 ist die energiesparende Wirkung verschiedener staatlicher Maßnahmen für einen Einfamilienhaus-Neubau beispielhaft dargestellt. Von der Aufwandseite werden lediglich Brennstoffkosten einer Ölheizung jeweils im 1. Betriebsjahr berücksichtigt. Als Parameter werden betrachtet:

- a) Die gesetzlichen Wärmeschutzanforderungen, charakterisiert durch den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der Gebäudehüllfläche ( $k_m$ -Wert).

- b) Einfluß der Heizungsanlagen-Verordnung, die höhere Anlagenwirkungsgrade ermöglicht.
- c) Einfluß der Ölpreisentwicklung.

Sowohl für 1973 als auch für drei Zeitpunkte nach der 1. Ölpreiskrise 1973/1974 werden die sich verändernden Relationen für Energieverbräuche und Brennstoffkosten aufgezeigt (1973 entspricht 1,0). Im Jahre 1981 beispielsweise waren die Heizkosten um den Faktor 2,45 gestiegen, bei Energieeinsparungen von ca. 35 %. Die Novelle der Wärmeschutzverordnung und die inzwischen eingeführte Niedertemperatur-Heiztechnik machen 1984 Einsparungen von 67 % möglich. Erst mit diesen enormen Einsparungen wird annähernd wieder die Brennstoffkostenrelation des Jahres 1973 erreicht. Ohne diese Maßnahmen jedoch hätte der Verbraucher für den Zeitraum 1973-1984 mit dem Anstieg der Energiekosten um das 4fache rechnen müssen.

## Literatur

- /2.1/ Prognos AG,  
Energieprognose,  
Stuttgart, 1984, S. 18
- /2.2/ D. Meadows et al.,  
Die Grenzen des Wachstums,  
Hamburg, 1973
- /2.3/ A. Lovins,  
Sanfte Energie,  
Hamburg, 1978
- /2.4/ P. Penczynski,  
Welche Energiestrategie können  
wir wählen?  
Berlin, München, 1978
- /2.5/ H. Matthöfer,  
Argumente in der Energiediskussion,  
Bd. 3, Bürgerbeteiligung und Bürger-  
initiativen, Villingen, 1977
- /2.6/ O. Renn et al.,  
Sozialverträgliche Energiepolitik,  
München, 1985
- /2.7/ Der Bundesminister für Wirtschaft,  
Das Energieprogramm der Bundes-  
regierung, Bonn, 1973
- /2.8/ Der Bundesminister für Wirtschaft,  
Erste Fortschreibung des Energie-  
programms der Bundesregierung,  
Bonn, 1974
- /2.9/ Der Bundesminister für Wirtschaft,  
Energieprogramm der Bundesregierung,  
Zweite Fortschreibung v. 14.12.1977,  
Bonn, 1977
- /2.10/ Der Bundesminister für Wirtschaft,  
Energieprogramm der Bundesregierung,  
Dritte Fortschreibung vom 4.11.1981,  
Bonn, 1981
- /2.11/ Energieeinsparungsgesetz,  
BGBl. I, 28.7.1976, S. 1873
- /2.12/ Gesetz zur Änderung des Wohnungs-  
modernisierungsgesetzes,  
BGBl. I, 27.6.78,
- /2.13/ DIN 4108,  
Wärmeschutz im Hochbau,  
Ausgabe August 1969,  
Berlin, Köln, 1969

- /2.14/ Wärmeschutzverordnung,  
BGBI. I, 27.2.1982,  
S. 1554
- /2.15/ Wärmeschutzverordnung,  
BGBI. I, 27.2.1982,  
S. 205
- /2.16/ Heizungsanlagen-Verordnung,  
BGBI. I, 27.9.78,  
S. 1581
- /2.17/ Heizungsanlagen-Verordnung,  
BGBI. I, 24.2.82,  
S. 205
- /2.18/ DIN 4701  
Regeln für die Berechnung des  
Wärmebedarfs von Gebäuden,  
Ausgabe Januar 1979,  
Berlin, Köln, 1979
- /2.19/ DIN 4701,  
Regeln für die Berechnung des  
Wärmebedarfs von Gebäuden,  
Ausgabe März 1983, Teil 1 + 2,  
Berlin, Köln, 1983
- /2.20/ P. Schmidt,  
Ergebnisunterschiede der Wärme-  
bedarfsrechnung durch die Neuausgabe  
der DIN 4701,  
Gesundheits-Ingenieur 103 (1982),  
H. 5, S. 222
- /2.21/ Heizungsbetriebs-Verordnung,  
BGBI., 22.9.1978, S. 1584
- /2.22/ Erstes Gesetz zur Änderung des  
Energieeinsparungsgesetzes,  
BGBI., 25.6.1980, S. 7+1
- /2.23/ Verordnung über Heizkostenabrechnung,  
BGBI. I, 25.2.1981, S. 261
- /2.24/ Zweite Verordnung zur Änderung der  
Einkommenssteuer-Durchführungsver-  
ordnung,  
BGBI. I, 30.11.1978, S. 1829
- /2.25/ o. Verfasser  
Steuergesetze I, C. H. Beck-Verlag,  
München 1984, S. 47
- /2.26/ Energieeinsparungsgesetz,  
a.a.O., S. 1874

### 3. Wärmebedarf

Die Kenntnis des Wärmebedarfs eines Gebäudes ist Grundlage zur Bemessung der Raumheizflächen sowie zur Auslegung einer Heizungsanlage. Beide Anwendungsfälle beziehen sich auf die Höchstlast des Wärmebedarfs, die zeitlich mit dem Auftreten der tiefsten angenommenen Außentemperatur zusammenfällt. Sie wird berechnet nach DIN 4701 "Regeln zur Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden". Der Wärmeleistungsbedarf im Verlauf der gesamten Heizperiode ist dagegen für den Wärmeverbrauch eines Gebäudes bestimmend. Ohne Berücksichtigung von heizungstechnischen Umwandlungsverlusten spricht man auch von Nutzwärmebedarf, da letztlich nur diese Wärmemenge im Raum direkt genutzt wird. Die Berechnung des Nutzwärmebedarfs erfolgt nach der noch zu diskutierenden Richtlinie VDI 2067, wegen des gleichen Bezugs werden jedoch wichtige Aspekte hier mitbehandelt.

Vor dem Erlass der Wärmeschutzverordnung war bei der Ermittlung des Wärmebedarfs zusätzlich nur die DIN 4108 "Wärmeschutz im Hochbau" zu berücksichtigen. Mit Erlass der Wärmeschutzverordnung kamen noch die Bestimmungen dieser Norm hinzu.

Folgende Faktoren bestimmen den Wärmebedarf:

- klimatische Einflüsse,
- Standort des Gebäudes,
- Gebäudeform,
- Gebäudeorientierung,
- bauphysikalische Einflüsse,
- Lüftungsverluste,
- Nutzereinflüsse und interne Lasten,
- gesetzgeberische Anforderungen.

Der Einfluß dieser Faktoren auf den Wärmebedarf wird zum einen allgemein umrissen, während zum anderen besonders ihre Bedeutung auf die dem Planer vorgegebenen Berechnungsunterlagen hervorgehoben wird. Im Anschluß daran erfolgt die Berechnung des Wärmebedarfs für 3 ausgewählte Haustypen, die den Gebäudebestand an Ein- und Zweifamilienhäusern im untersuchten Versorgungsgebiet repräsentieren.



Einführend jedoch werden die Bedingungen an ein behagliches Raumklima, die als Voraussetzung bei Wärmebedarfsrechnungen gelten, umrissen.

### 3.1 Behagliches Raumklima

Die Heizungstechnik hat ein Grundbedürfnis des Menschen zu erfüllen, nämlich seinen Wunsch nach thermischer Behaglichkeit in dem durch Klima, Aufenthaltsort, Tageszeit und Tätigkeit bestimmten Spannungsfeld. Insbesondere sollen in geschlossenen Räumen Temperaturen und Luftzustände so gestaltet werden, daß der Mensch sich wohl befindet. Die physiologische Empfindung thermischer Zustände hängt vom jeweiligen Gleichgewicht zwischen der inneren Wärmeleistung des Körpers und seiner Wärmeabgabe an die Umgebung ab. Die Wärmeregulation des Organismus läßt zu, daß dieses Gleichgewicht sich innerhalb bestimmter Grenzen verschieben darf, die Mediziner beurteilen eine Klimamonotonie, also die Fixierung auf einen bestimmten Sollzustand, negativ.

Für die Schaffung eines thermisch behaglichen Raumklimas sind besonders die Raumlufthtemperaturen und die Temperaturen der Raumumschließungsflächen (Wände, Fenster) von großer Bedeutung. Als Maß für die Beschreibung eines behaglichen Raumklimas kann in erster Linie die vom Raumnutzer empfundene Temperatur angesetzt werden. Sie ist eine Funktion der Raumlufthtemperatur und der mittleren Oberflächentemperatur der raumumschließenden Fläche /3.66/.

Aus Befragungen an Personen, die bestimmten, meßtechnisch erfaßten Raumlufthzuständen ausgesetzt wurden, lassen sich für die empfundenen Temperaturen sogenannte Behaglichkeitsfelder ermitteln.

Im Behaglichkeitsbereich wird von den Rauminsassen kein Zug empfunden. In Räumen mit hohem Anteil an transparenten Flächen an der Außenfläche und "nichtidealen" Heizflächen läßt sich dieser Zustand jedoch nur annähernd erreichen. Dazu ist es erforderlich, die Raumlufttemperatur um 3 bis 5 °C über das übliche Maß anzuheben. Das Erreichen der thermischen Behaglichkeit erfordert aufgrund der vorgegebenen Baukonstruktion somit erhöhten Energieeinsatz.

### 3.2 Klimatische Einflüsse

Während der Heizperiode beobachtet man in der Umfassungskonstruktion eines Gebäudes einen Wärmestrom, der im allgemeinen nach außen gerichtet ist. Der trockene Wärmeübergang an der Außenseite der Bauhülle ist eine Folge der Temperaturunterschiede zwischen der äußeren Bauteiloberfläche und der Luft sowie zwischen den Körperoberflächen, die mit der Bauhülle im Strahlungswärmetausch stehen. Daneben entstehen Wärmeverluste durch Wärmetransport durch undichte Stellen in der Bauhülle.

Die diesen Wärmefluß maßgeblich bestimmenden klimatischen Größen sind:

- a) die aufgeprägte Sonnenstrahlung,
- b) die Außenlufttemperatur,
- c) die Temperaturstrahlung in die Umgebung und  
aus der Umgebung,
- d) Windgeschwindigkeit.

Eine exakte Berechnung des Wärmebedarfs erforderte die Berücksichtigung aller meteorologischen Elemente in Abhängigkeit ihres Auftretens. Den geltenden praxisorientierten Regeln zur Berechnung des Wärmebedarfs (DIN 4701) liegen im wesentlichen die Außenluftzustände zugrunde. Lediglich über Korrekturfaktoren gehen Windanfall und Sonnenstrahlung ein /3.1 - 3.4/.

Mit dem Aufkommen energiesparender Heizsysteme (mit Nutzung der Wärmequelle Außenluft) mußten auch Anforderungen an Ganglinien von Außenlufttemperatur gestellt werden, um Arbeitszahlen und

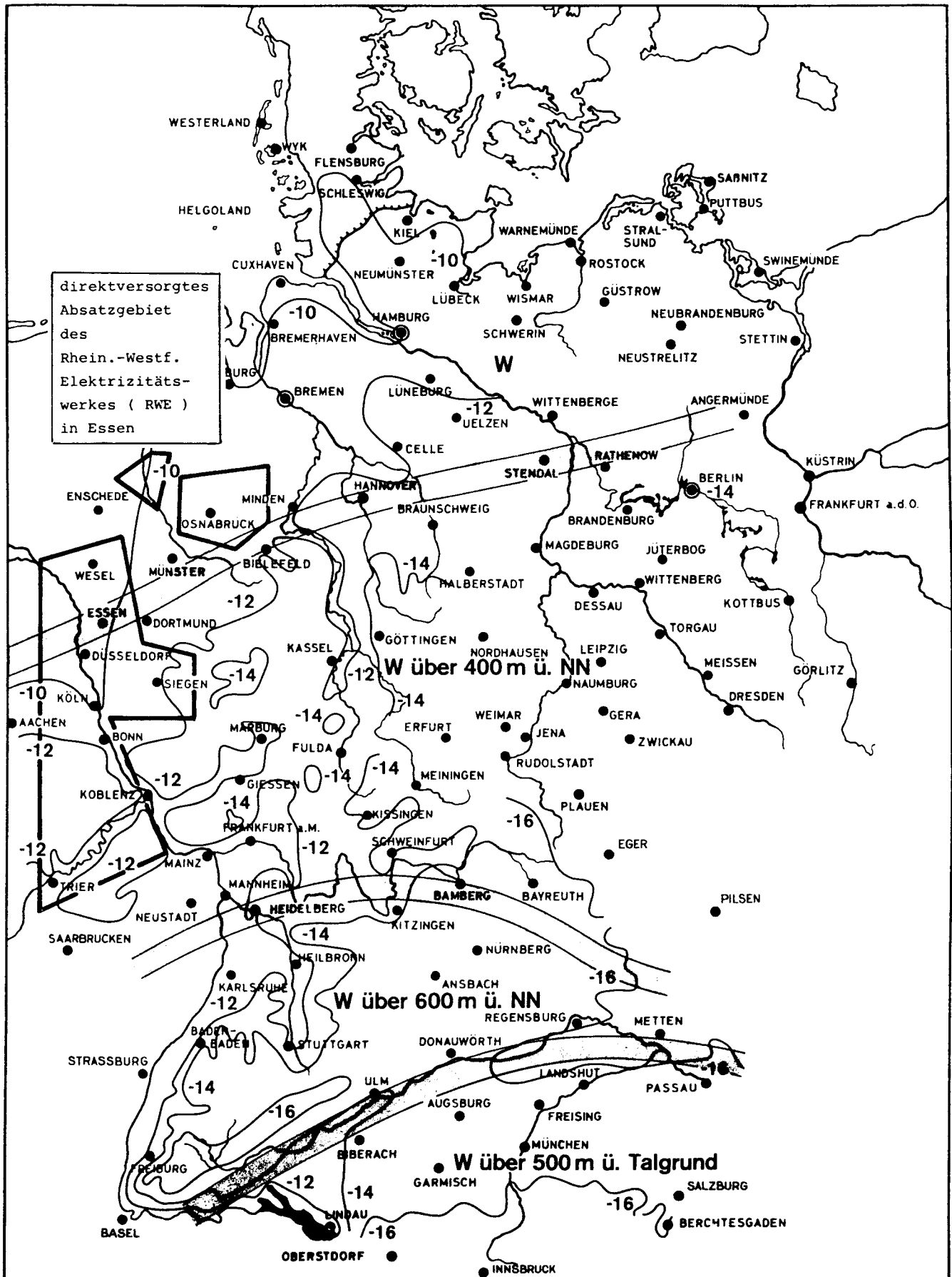
Deckungsbeiträge dieser Systeme ermitteln zu können. Die klimatischen Einflüsse berühren somit gleichzeitig den Wärmebedarf und den Bedarfsdeckungsprozeß. Bei der sehr gleichartigen Behandlung der Thematik, wie es bei Wärmepumpen mit Nutzung der Außenluft bzw. Grundwasser gegeben ist, werden die Nutzungsmöglichkeiten dieser Wärmequellen in die Analyse der Klimafaktoren einbezogen.

### 3.2.1 Außenluft

Die Isothermenkarte in Bild 3.1 gibt die Extremwerte wieder, die zwischen 1951 und 1970 als Zweitagesmittel mindestens 10 mal in 20 Jahren auftraten (nach DIN 4701). Die Einbeziehung von Zweitagesmitteln der Normaußentemperatur gilt seit 1978, in der Fassung der DIN 4701 von 1959 wurden dagegen tiefste Außentemperaturen angesetzt. Beispielsweise ergab sich dadurch für Hamburg eine Verringerung um 3 °C von -15 °C auf -12 °C. Bei der Reduzierung der Normaußentemperaturen wird unterstellt, daß die Wärmekapazität der Gebäudehülle kurzfristig Unterschreitungen der Normaußentemperatur auffangen kann, die Raumlufthtemperatur also nicht wesentlich beeinflußt wird /3.5 - 3.7/.

In Bild 3.1 wurden ebenfalls die Umrisse des in dieser Arbeit ausgewählten Versorgungsgebietes des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes in Essen eingezeichnet, somit ist mit Gültigkeit dieser Norm mit Normaußentemperaturen zwischen -12 °C und -14 °C zu rechnen.

Während der Planer sich bei Auslegung konventioneller Systeme durch die DIN 4701 absichern konnte, war die Auslegung von Wärmepumpen problematischer, da umfassende Tabellenwerte zu tatsächlich erfaßten meteorologischen Daten erst in Ansätzen vorliegen. Für Berlin gibt es bereits ein Test-Referenzjahr, für die verschiedenen Klimazonen der Bundesrepublik werden Test-Referenzjahre jedoch noch bearbeitet; ihre Fertigstellung ist kurzfristig nicht zu erwarten. Im Entwurf DIN 4710 (Meteorologische Daten, Mai 1979) sowie in der VDI-Richtlinie 2071 (Wärmerückgewinnung in raumlufthtechnischen Anlagen) wird hinsichtlich der meteorologischen Daten ein Kompromiß zwischen ge-



Tiefstes Zweitagesmittel der Lufttemperatur in °C (10mal in 20 Jahren), Zeitraum: 1951 bis 1970  
Aufgestellt vom Deutschen Wetterdienst, Zentralamt Offenbach/Main

Bild 3.1: Isothermenkarte nach DIN 4701/83 /3.4/

nauen, vollständigen Jahresprotokollen und allzu vereinfachenden Mittelwertbildungen angestrebt. Die dort genannten Daten gelten streng genommen nur für den Standort der jeweiligen Meßstation. Ohne weiteres lassen sie sich nicht regionalisieren /3.8/.

Für die Berechnung von Heizsystemen sind die meteorologischen Daten aus der Richtlinie VDI 2071 ausgewertet worden /3.9/. Ähnlich der alten DIN 4108 (Fassung 69) wird danach in 3 Klimazonen unterschieden:

- a) die binnenländischen Gebiete der Bundesrepublik mit Mittelgebirgscharakter (Zone 1),
- b) die küstennahen Gebiete und die norddeutsche Tiefebene (Zone 2),
- c) die kontinentale Alpenregion (Zone 3).

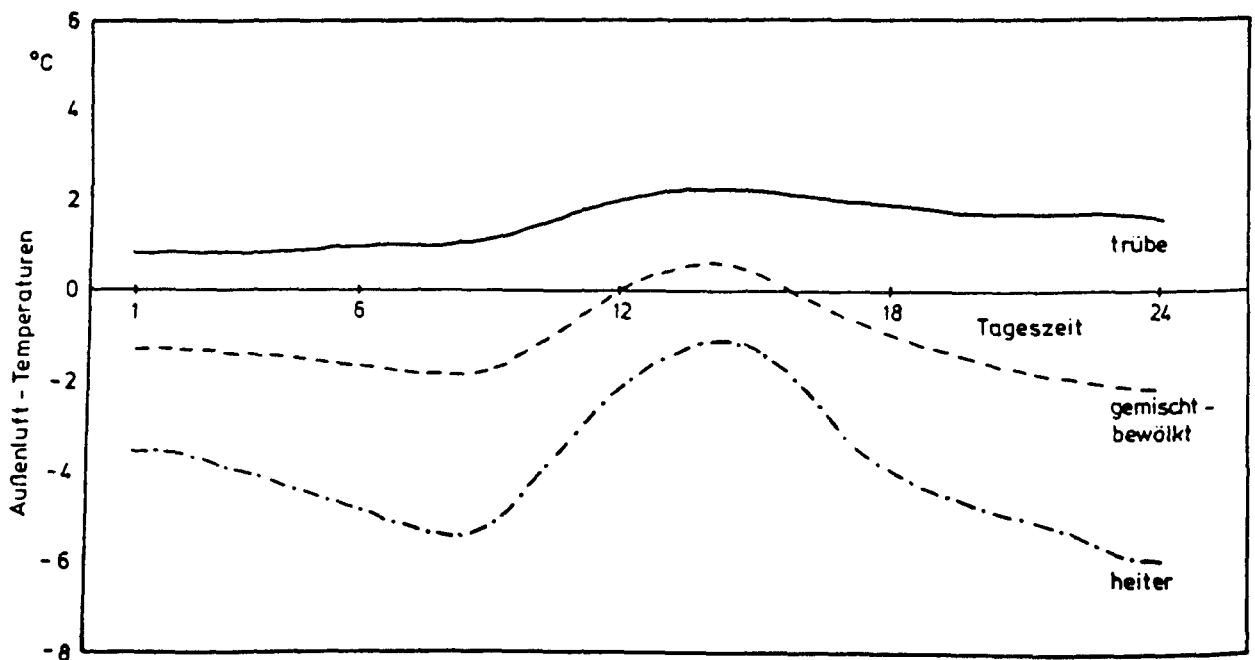


Bild 3.2: Stündliche Werte der Außenlufttemperatur im Januar für Zone 2 nach Bewölkungsart /3.54/

Bild 3.2 zeigt eine Tagesganglinie der Außenlufttemperatur auf der Basis stündlicher Werte bei unterschiedlicher Bewölkungsart im Monat Januar. Die tiefsten Temperaturen werden nachts bzw. vor Sonnenaufgang erreicht und erreichen an heiteren Tagen ihren Minimalwert. Erkennbar werden somit gegenläufige Tendenzen auf den Wärmebedarf (s. Sonnenstrahlung).

Die Außenluft ist für Wärmepumpen keine ideale Wärmequelle, da die Temperaturen stark schwanken und tiefe Außentemperaturen erreichen, bei denen die Wärmepumpen wenig effizient eingesetzt werden. Wärmepumpen zur Nutzung der Außenluft sind daher in der Regel bivalent ausgelegt, d. h. ab einem bestimmten Temperaturpunkt (Bivalenzpunkt) übernimmt ein anderes System den Heizbetrieb.

Unter der Annahme eines Umschaltpunktes von z. B.  $0^{\circ}\text{C}$  ergibt die Ganglinienanalyse, daß an trüben Tagen ausschließlich der Wärmepumpenbetrieb möglich ist, während an gemischt-bewölkten und heiteren Tagen das Zusatzheizsystem den Heizbetrieb übernehmen müßte. Um Arbeitszahlen und Deckungsbeträge dieser Systeme ermitteln zu können, ist eine Kenntnis der Häufigkeiten der Temperaturen über und unter dem jeweiligen Umschaltpunkt erforderlich. Diese können aus Summenhäufigkeitskurven (Dauerlinien) entnommen werden (s. Bild 3.3, /3.10 - 3.12/).

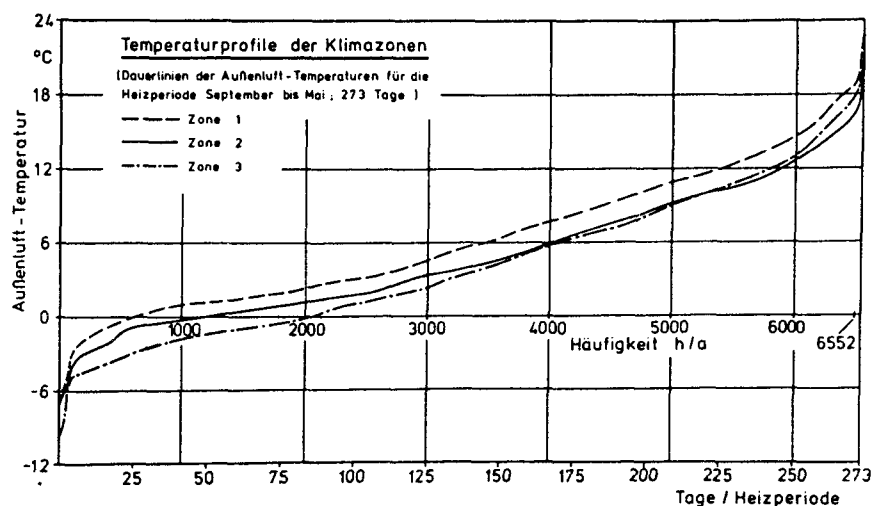


Bild 3.3: Häufigkeiten der Außentemperaturen (Dauerlinien) für die Winterheizperiode (September - Mai)

Nimmt man den häufig gewählten Umschaltpunkt von  $+ 3^{\circ}\text{C}$  als Bivalenzpunkt an, so läßt sich für die Winterheizperiode ein Deckungsbeitrag von 58 % errechnen, bei Annahme einer Heizgrenztemperatur (bei der der Heizbetrieb beginnt) von  $15^{\circ}\text{C}$ . Bezieht man die Sommerheizperiode ein, die voll durch die Wärmepumpen abgedeckt wird (Gesamthäufigkeit Winterheizperiode mal 10 %), so ergibt sich ein zu erwartender Deckungsbeitrag von ca. 62 %. Diese Dauerlinien zeigen darüber hinaus einen wichtigen Aspekt der Auslegung von Heizungsanlagen deutlich auf. Die Dimensionierung auf die zu erwartende Höchstlast erfordert eine Heizleistung, die über die gesamte Winterheizperiode, z. B. gegenüber  $0^{\circ}\text{C}$  für die Zone 1 nur an 25 Tagen benötigt wird ( $\sim 10\%$  der Jahresheizstunden).

### 3.2.2 Wind

Der Wind hat einen sehr bedeutenden Einfluß auf den Wärmebedarf von Gebäuden. Während der Einfluß auf Transmissionswärmeverluste als in erster Näherung vernachlässigbar bezeichnet werden kann, muß die aufgrund des Windanfalles infolge der Undichtheiten von Fenster und Türen eindringende Außenluft im Winter durch das Heizsystem auf die gewünschte Rauminnentemperatur erwärmt werden (s. 3.6 Lüftungswärmeverluste). Bei starkem Windanfall und Außentemperaturen von etwa  $0^{\circ}\text{C}$  können die Lüftungswärmeverluste die Größenordnung der Transmissionswärmeverluste erreichen. Für die Auslegung eines Heizsystems und die im Jahresverlauf umgesetzten Heizwärmemengen ist der Einfluß des Windes daher von großer Bedeutung /3.47, 3.48/.

Windrichtung und Windgeschwindigkeit sind die Komponenten des Windes, die bei der Ermittlung des Heizwärmebedarfs zu berücksichtigen sind. In der Meteorologie wird als Windrichtung die Richtung angegeben, aus der der Wind weht. In der Bundesrepublik Deutschland sind im Jahresmittel Winde aus Südwesten bis Westen am häufigsten.

Die höchsten Windgeschwindigkeiten treten im Bereich der Küste auf. Im Landesinnern ist nur vereinzelt an exponierten Lagen der Mittel- und Hochgebirge mit ähnlich hohen Windgeschwindigkeiten zu rechnen. In der Isothermenkarte von Bild 3.1 sind die windstarken Gebiete besonders gekennzeichnet (mit W bezeichnet). Diese Bedingungen finden in der DIN 4701 ihren Eingang durch Kenngrößen (s. 3.6 Lüftungswärmeverluste).

Von Bedeutung für den Leistungsbedarf von Heizsystemen ist außerdem die Gleichzeitigkeit von tiefen Außentemperaturen und hohen Windgeschwindigkeiten. Aus Messungen ist heute bekannt, daß eine Gleichzeitigkeit des Minimums von Außentemperatur und des mittleren Maximums der Windgeschwindigkeit nicht gegeben ist (s. Bild 3.4). Die angenommene Gleichzeitigkeit dieser Extrema war einer der Gründe für die Überdimensionierung von Heizanlagen nach der Norm DIN 4701, Ausgabe 59 /3.49/.

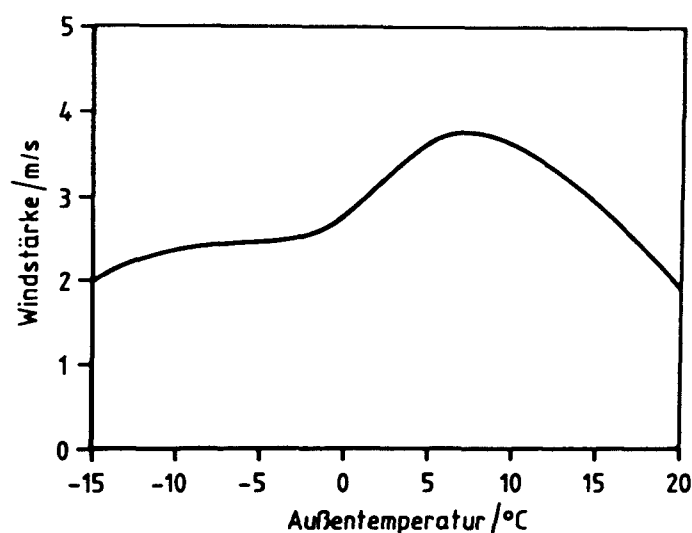


Bild 3.4: Mittlere Windstärke in Abhängigkeit des Außentemperaturverlaufs /3.67/ (Hamburg)



So wurden bei tiefsten Außentemperaturen für eine windstarke Gegend und freie Lage große Windgeschwindigkeiten angenommen. Sie wurden durch die Ausgabe 1983 der DIN 4701 auf 6 m/s reduziert, beinhalten im Hinblick auf Bild 3.4 jedoch immer noch Reserven.

Bei der Berücksichtigung des Windanfalles ist zwischen dem täglichen und jährlichen Gang zu unterscheiden. Die Unterschiede im täglichen Gang sind gering und können für heizungstechnische Untersuchungen vernachlässigt werden. Beim jährlichen Gang zeigt sich, daß die mittlere Windgeschwindigkeit überall in Deutschland im Winter größer ist als im Sommer. Für die Heizungstechnik wichtig sind besonders die größeren Geschwindigkeiten im Winter. Meßergebnisse zeigen, daß Winde höherer Windgeschwindigkeit (über 5 m/s) mit einer Häufigkeit von etwa 70 % aus westlichen Richtungen wehen. Da außerdem Häufigkeits- und Geschwindigkeitskurve annähernd gleichlaufend sind, haben demnach die nach westlichen Richtungen gelegenen Räume durch den Wind einen erheblichen zusätzlichen Wärmebedarf /3.50/.

Der Einfluß zunehmender Windgeschwindigkeit bei wachsender Gebäudehöhe und der Auftriebswirkung blieben in der DIN 4701 (Ausgabe 1959) unberücksichtigt. Erstmals in der Ausgabe 1983 (Teil 1) wird die überlagerte Wirkung von Wind und Auftrieb bei hohen Gebäuden in Rechnung gestellt. Dabei wird nach "Schachttyp-Gebäuden" und "Geschoßtyp-Gebäuden" unterschieden. In Untersuchungen wurde festgestellt, daß "Geschoßtyp-Gebäude" nur den Winddruckwirkungen ausgesetzt sind, während sich bei "Schachttyp-Gebäuden" Wind- und Auftriebsdrücke überlagern /3.51/. Für Gebäude bis 10 m Höhe werden kein Auftriebseinfluß und keine Geschwindigkeitsänderung angenommen. Die eingeführten Hauskenngrößen beziehen sich auf diese Höhe, je nach Gebäudeart werden Höhenkorrekturfaktoren ermittelt, die auf die Fugendurchlässigkeiten der angeströmten und nichtangeströmten beweglichen Bauteile bezogen werden (s. 3.6 Lüftungswärmeverluste). Für die hier untersuchten Gebäudetypen (Ein-, Zweifamilienhäuser) sind diese Anforderungen nur im Grenzbereich von Bedeutung, d. h., wenn die Gebäudehöhe von 10 m ausnahmsweise überschritten wird.

### 3.2.3 Sonnenstrahlung

Neben der Außenlufttemperatur und dem Wind muß bei der Analyse des Heizwärmebedarfs von Gebäuden ebenfalls der Einfluß der Sonnenstrahlung berücksichtigt werden. Während es infolge des Temperaturgradienten zwischen Raumluft und Außenluft zu einem Wärmefluß vom Rauminnern zur Hausumgebung kommt, also Wärmeverluste auftreten, ergeben sich durch die solare Strahlung Wärmegewinne. Untersuchungen haben gezeigt, daß die Strahlungsgewinne durch transparente Bauteile beträchtlich sein können /3.68/. Die Strahlungsgewinne haben aber größeren Einfluß auf den Wärmeverbrauch als auf die Auslegungsleistung der Heizanlage (s. Bild 3.2)

Bild 3.5 gibt Aufschluß über die Strahlungsintensität (bei klarem Himmel) der Sonne (obere Grafik) bzw. über die auf verschieden orientierte Flächen eingestrahltten Energiemengen (untere Grafik). Bei diffuser Strahlung (bedecktem Himmel) ist die Strahlungsintensität gleich der der Nordorientierung. Vorzugsweise ist ein Haus mit seinen Hauptfensterflächen daher nach Süden zu orientieren (s. Gebäudeorientierung).

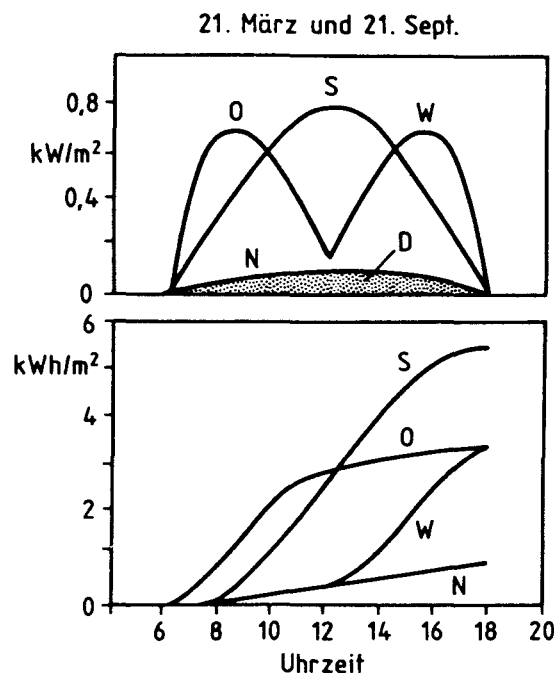


Bild 3.5: Strahlungsintensität der Sonne (obere Grafik) sowie eingestrahltte Energiemengen auf verschieden orientierte Flächen (untere Grafik) /3.67/  
(D = Diffuse Strahlung)

In der DIN 4701 (Ausgabe 1959) wurde die Sonnenstrahlung durch den Himmelsrichtungszuschlag berücksichtigt. Dieser entfällt in der Ausgabe 1983, dafür werden die Sonnenenergiegewinne über transparente Bauteile durch einen effektiven k-Wert berücksichtigt (s. bauphysikalische Einflußgrößen).

#### 3.2.4 Wärmequelle Grundwasser

Neben der Außenluft wird als weitere Wärmequelle für Wärmepumpen in dieser Arbeit das Grundwasser berücksichtigt. Untersuchungen über Grundwassertemperaturen bei unterschiedlichen Bodentiefen haben ab 5 m Tiefe im Jahresverlauf nur noch geringe Schwankungen um 9 °C erbracht /3.69/. Die Grundwassertemperatur ist also relativ unabhängig von dem Angebot der Sonnenstrahlung. Wegen seiner Konstanz und des relativ hohen Wärmeniveaus ist es eine hervorragende Quelle für Wärmepumpen, die das ganze Jahr über den Heizbetrieb übernehmen sollen (monovalente Wärmepumpen).

#### 3.3 Standorteinfluß

Örtliche Temperaturverhältnisse und Windeinflüsse aufgrund topographischer Gegebenheit haben großen Einfluß auf den Wärmebedarf von Gebäuden. In der Praxis ist die freie Standortwahl wegen der Baulandknappheit nur bedingt möglich. Wenn der Bauinteressent jedoch innerhalb verschiedener Lagen im Gelände wählen könnte, so ergäben sich die in Bild 3.6 dargestellten Verhältnisse /3.13/. Bezogen auf den Wärmebedarf eines Hauses im ebenen Gelände (= 100 % gesetzt) ergeben sich Abweichungen von -17 % bis +25 %.

Gravierender ist jedoch der Einfluß der örtlichen Windverhältnisse. Die Windintensität wird bestimmt durch /3.14/:

- o Geographische Lage des Ortes (Küstennähe oder Landesinnere),

- o Lage der Siedlung in der Landschaft (exponierte oder geschützte Lage),
- o Höhe über Geländeoberkante,
- o Gebäudeform,
- o Stellung des Gebäudes zur Hauptwindrichtung.

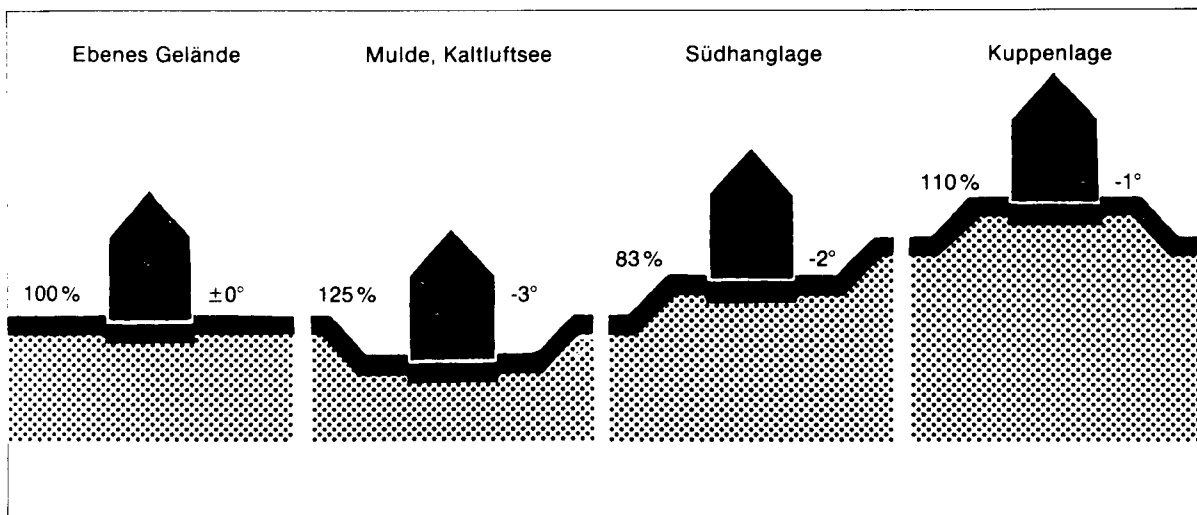


Bild 3.6: Wärmebedarf gleicher Häuser je nach Lage im Gelände durch örtliche Temperaturverhältnisse /3.14/

In Bild 3.7 sind Wärmeverluste, die lediglich auf den Einfluß des Windes zurückzuführen sind, schematisch erläutert. Innerhalb des Wärmebedarfs durch Windeinfluß gibt es Unterschiede auf die freie Lage bezogen von +100 % bis -50 % /3.15, 3.16/.

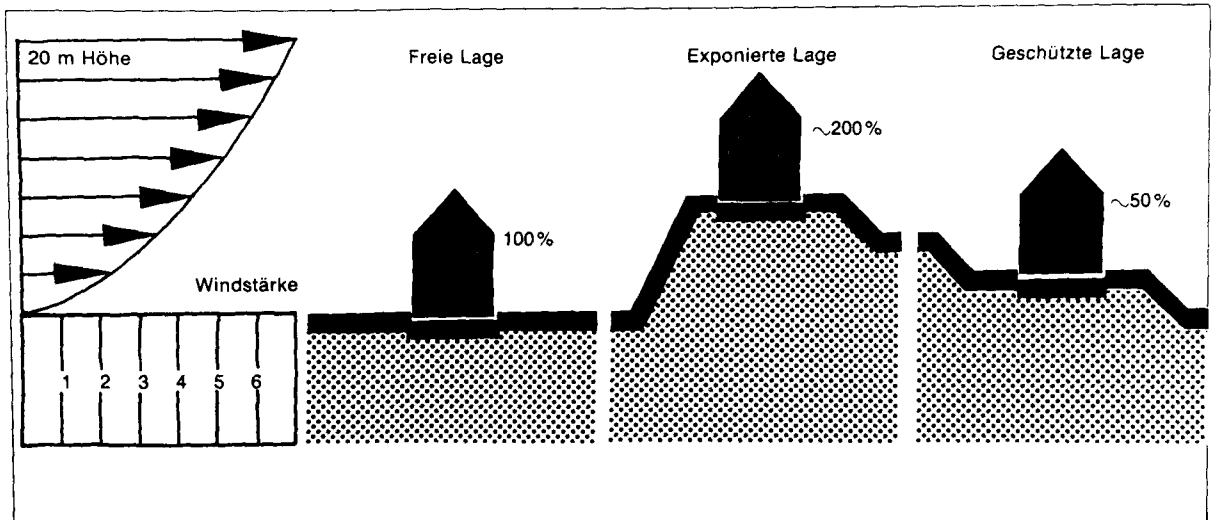


Bild 3.7: Wärmebedarfsunterschiede gleicher Haustypen aber unterschiedlicher Lage und Fensterausführung durch Windeinfluß /3.15/

Der Einfluß des Standortes wird in der DIN 4701 bei der Ermittlung der Lüftungswärmeverluste erfaßt (s. Kap. 3.6 Lüftungswärmeverluste).

### 3.4 Bauweise

#### 3.4.1 Gebäudeform

Betrachtet man ein Gebäude als einfaches thermodynamisches System, über dessen Umfassungsflächen  $A$  ( $\text{m}^2$ ) die Wärmeverluste  $\dot{Q}$  (W) bei gegebener Temperaturdifferenz  $\Delta t$  (K) und gegebenem mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten  $k_m$  ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$ ) an die Umgebung abgegeben werden, so lassen sich diese Beziehungen in Analogie zur DIN 4108 (Beiblatt) beschreiben /3.17/:

$$\dot{Q} / (V \cdot \Delta t) = (A / V) \cdot k_m \quad \text{Gl. 3.1}$$

Der Quotient  $A/V$  trägt der Tatsache Rechnung, daß ein vorgegebenes Bauvolumen von der Gebäudegeometrie her durch verschiedene Oberflächen umhüllt werden kann, wodurch gleichzeitig Wärmever-

luste unterschiedlicher Höhe bei gleicher Baustoffwahl auftreten. Kompakte Gebäude, die ein günstiges A/V-Verhältnis aufweisen, haben einen geringeren Wärmebedarf als nicht-kompakte Gebäude. Als Folge der unterschiedlichen Kompaktheit der Haustypen ergibt sich vom Einfamilienhaus zum Wohnhochhaus eine Abnahme des hier grundflächenbezogenen, spezifischen Wärmebedarfs von  $70 - 100 \text{ W/m}^2$  auf  $45 - 65 \text{ W/m}^2$  /3.18/. Zu diesen Zahlenangaben ist zu bemerken, daß sie auf der Grundlage der Wärmeschutzverordnung von 1977 erstellt wurden. Ein- und Zweifamilienhäuser hatten vor der Wärmeschutzverordnung spezifische Bedarfswerte von  $150 - 200 \text{ W/m}^2$ .

Für den Wärmebedarf weiterhin wichtig ist der Anteil einzelner Bauteile an der Gebäudehüllfläche, da sie sich wärmedämmtechnisch sehr unterschiedlich verhalten.

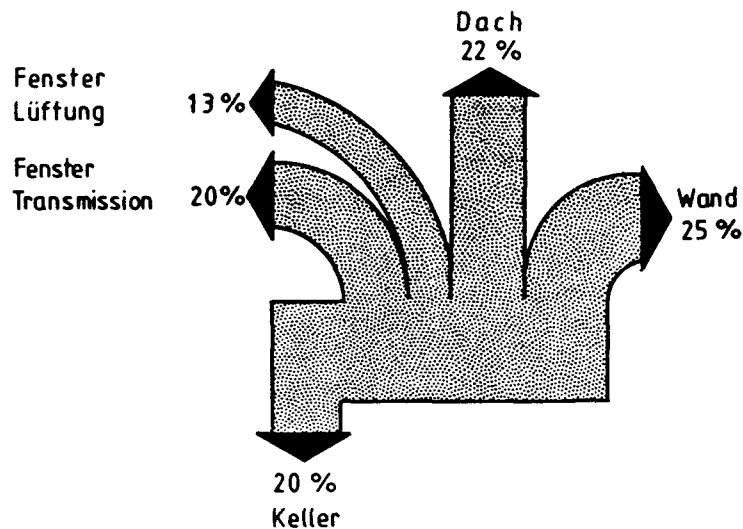


Bild 3.8: Aufteilung des Wärmebedarfs nach Bauteilen für ein freistehendes Einfamilienhaus /3.19/

Aus Bild 3.8 wird deutlich, daß besonders transparente Bauteile (Fenster) einen großen Einfluß auf den Wärmebedarf haben, der nicht ihrem Hüllflächenanteil entspricht.

Der bedeutende Einfluß der Gebäudeform in Verbindung mit den Einflüssen wärmedämmtechnisch unterschiedlicher Bauteile, hat

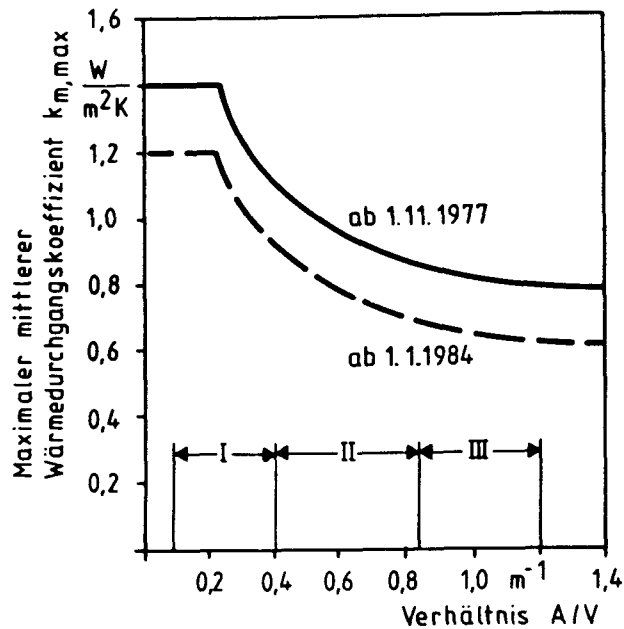


Bild 3.9: Anforderungen des Verfahrens Nr. 1  
(A/V-Verfahren) der Wärmeschutzverordnung /3.61/

- I = große kompakte Gebäude
- II = mittlere gereimte Gebäude
- III = freistehende kleine Gebäude

den Gesetzgeber veranlaßt, auf der Basis des Beiblattes zur DIN 4108 diese Faktoren bei Einführung der Wärmeschutzverordnung von 1977 zu berücksichtigen (Bild 3.9, /3.61/).

### 3.4.2 Gebäudeorientierung

Bei der Gebäudeorientierung sind vorrangig die Einflüsse des Windes (s. 3.3 Standortwahl) und der Sonne zu berücksichtigen. Die "passive" Nutzung der Sonnenenergie setzt eine Orientierung des Gebäudes mit seinem Haupträumen nach Süden voraus. In Zusammenhang mit bauphysikalischen Einzelmaßnahmen kann aufgrund

folgender Prinzipien der Wärmebedarf reduziert werden /3.21/:

- o Einfang der durch Fenster oder transparent abgedeckte Öffnungen eingestrahltten Sonnenenergie.
- o Speichern bzw. Absorbieren von Solarenergie in Bauteilen.
- o Verhinderung des Energieabflusses zu Zeiten geringen bzw. fehlenden Energieangebotes (nachts) durch bauliche Abdeckungsmaßnahmen.
- o Transport der Wärme aus Räumen oder Baukonstruktionen mit hohem Energieangebot in Defizitbereiche über Schächte, Kanäle und einfache Gebläse.

Bei dieser "passiven" Nutzung der Sonnenenergie spielt die Wärmebilanz von Fenstern eine entscheidende Rolle (s. 3.5 Bauphysikalische Einflüsse). Wie hoch die realisierten Gewinne werden, hängt nicht unwesentlich von der konstruktiven Einbettung der Fenster in das Haus (Fensterflächenanteile, Orientierung, Fensterläden), vom Wärmespeichervermögen der Innenbauteile und letztlich auch vom Nutzerverhalten (Betätigung der Fensterläden) ab.

### 3.5 Bauphysikalische Einflüsse

Mit Ausgabe der DIN 4108 "Wärmeschutz im Hochbau", Teil 5, liegen dem Planer seit 1981 umfassend dargelegte Berechnungsgrundlagen zur Erfassung bauphysikalischer Einflüsse (Wärmeschutz, Baufeuchte) vor /3.22, 3.23/. Für Wärmebedarfsrechnungen wird nur auf den Wärmeschutz zurückgegriffen.

#### 3.5.1. Wärmedurchgang

Beim Durchgang der Gebäudewärme durch Wände, Dach, Keller, Fenster und Türen entstehen Transmissionswärmeverluste. Für den Wärmestrom gilt bei Annahme gleicher Innen- und Außenfläche A des Bauteils /3.24/:



$$\dot{Q}_T = k \cdot A \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) \quad (W) \quad \text{Gl. 3.2}$$

$k$  = Wärmedurchgangskoeffizient ( $W/m^2K$ )

$\vartheta_i$  = Raumlufttemperatur (K)

$\vartheta_a$  = Außenlufttemperatur (K)

Mit  $1/k = R_K$  = Wärmedurchgangswiderstand ( $m^2K/W$ ) Gl. 3.3  
erhält man

$$\dot{Q} \cdot R_K = A \cdot \Delta \vartheta \quad \text{Gl. 3.4}$$

Durch  $R_K$  werden verschiedene Widerstände, die dem Wärmedurchgang entgegenwirken, erfaßt (s. Bild 3.5). Es gilt weiterhin

$$1/k = 1/\alpha_i + 1/\Lambda + 1/\alpha_a \quad (m^2 K/W) \quad \text{Gl. 3.5}$$

$$\text{oder } R_K = R_{\alpha_i} + R_{\Lambda} + R_{\alpha_a} \quad \text{Gl. 3.6}$$

$R_{\alpha_i}$  = innerer Wärmeübergangswiderstand ( $m^2K/W$ )

$R_{\Lambda}$  = Wärmedurchlaßwiderstand ( $m^2K/W$ )

$R_{\alpha_a}$  = äußerer Wärmeübergangswiderstand ( $m^2K/W$ )

Die Wärmeübergangskoeffizienten hängen von den jeweils am Bauort herrschenden Strahlungs- und Konvektionsbedingungen ab.

Die Begrenzung des Wärmedurchgangs wird in der Wärmeschutzverordnung durch den Wärmedurchgangskoeffizienten beschrieben (k-Werte), während die Mindestbestimmungen in der DIN 4108 durch den Wärmedurchlaßwiderstand  $1/\Lambda$  ausgedrückt werden. Für den Wärmedurchlaßwiderstand gilt:

$$R_{\Lambda} = 1/\Lambda = S/\lambda \quad (m^2K/W) \quad \text{Gl. 3.7}$$

$S$  = Dicke des Baustoffes (m)

$\lambda$  = Wärmeleitfähigkeit ( $W/mK$ )

oder bei schichtweiser Anordnung (Reihenanzordnung)

$$R_{\Lambda} = 1/\Lambda = \sum_{j=1}^n (S/\lambda) \quad (\text{m}^2\text{K/W}) \quad \text{Gl. 3.8}$$

Der Vergleich der unterschiedlichen Baukonstruktionen in Bild 3.10 zeigt deutlich den verminderten Wärmeabfluß bei dem wärme-gedämmten Bauteil. Die einschalige Wand, die den Anforderungen der DIN 4108/69 genügt, führt zu einem Temperaturabfall an der Innenwand gegenüber der Raumlufttemperatur von 5 °C. Dies vermindert erheblich das Behaglichkeitsgefühl in solch einem Raum. Dagegen beträgt der Temperatursprung bei der wärme-gedämmten Konstruktion etwa 2 °C /3.26/. Neben der energiesparenden Wirkung hat der verbesserte Wärmeschutz also erheblichen Einfluß auf die Behaglichkeitsbedingungen in einem Raum.

Die hier dargelegte Darstellung des Wärmedurchgangs beruhte auf stationären, d. h. von der Zeit unabhängigen Vorgängen. Stationäre Wärmeübertragung, z. B. durch eine Wand wird allerdings nur erreicht, wenn dem abzuführenden Wärmestrom auf der einen Seite der Wand ein gleichgroßer zuzuführender Wärmestrom auf der anderen Seite gegenübersteht. Verändern sich dagegen die Oberflächentemperaturen in Abhängigkeit von der Zeit, wie dies bei Aufheiz- und Abkühlvorgängen der Fall ist, so verändert sich die Größe des Wärmestromes, die Strömung ist instationär.

Will man die Auswirkungen z. B. der Nachtabenkung oder aber die der Sonnenstrahlung berücksichtigen, so muß von instationären Bedingungen ausgegangen werden /3.27/. Die Erkenntnisse aus Untersuchungen der Wärmebilanz transparenter Bauteile (Fenster), die besonders instationären Randbedingungen unterliegen, haben zur Annahme eines effektiven stationären Wärmedurchgangskoeffizienten geführt /3.44/. Die Strahlungsgewinne werden in Abhängigkeit der Fenster durch einen Gesamtenergiedurchlaßgrad  $g$  berücksichtigt (DIN 4108, Ausgabe 1981, Teil 2 /3.43/). Der effektive  $k$ -Wert eines Fensters, der gegenüber dem rein stationären Wärmedurchgangskoeffizienten  $k_F$  je nach Orientierung vermindert ist, trägt diesen Gewinnen Rechnung. In der DIN 4701,

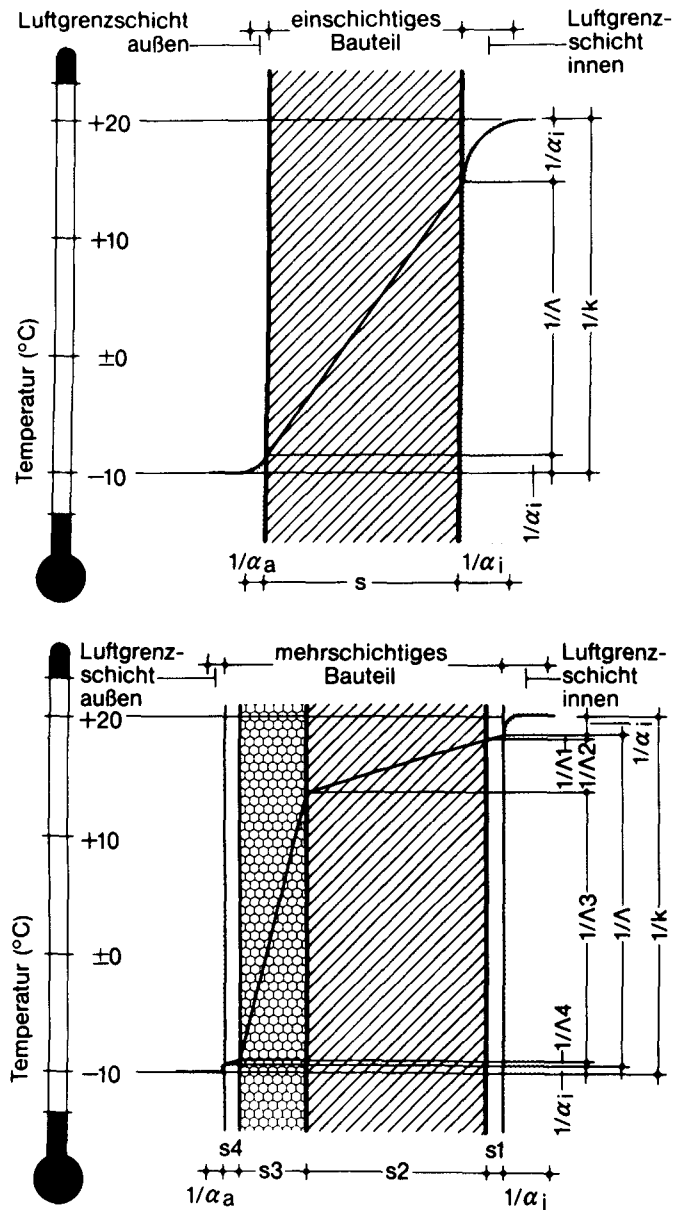


Bild 3.10: Darstellung der Begriffe zum Wärmedurchgang und des Temperaturverlaufs bei ein- und mehrschichtigen Bauteilen /3.25/

Ausgabe 1983, wird dieses Verfahren verändert angewandt. Es wird ebenfalls ein Korrekturfaktor eingeführt, der nur auf diffuse Strahlung bezogen wird und unabhängig von der Orientierung des Fenster ist (vgl. Bild 3.5) /3.45/.

### 3.5.2 Wärmespeicherung

Die Speicherfähigkeit von Baukonstruktionen, mit der sie Überschußwärme aus der Umgebung aufnehmen bzw. an diese abgeben können, ist von besonderer Bedeutung für die Behandlung des instationären Wärmeübergangs bei zeitlich veränderlichen Innen- und Außentemperaturen. Hohe Speicherfähigkeit glättet die Temperaturengleichsvorgänge, die z. B. bei Reduktion der Heizleistung während der Nachtstunden, bei Betriebsunterbrechungen, bei geringer Regelungsfähigkeit der Heizungsanlage, und auch als Folge des Tagesgangs der Außentemperaturen und der Sonneneinstrahlung auftreten. Maß für die Speicherfähigkeit ist die Wärmekapazität, d. h. das Produkt aus spezifischer Wärme  $c$  des Materials und seiner jeweiligen Menge (Masse  $m$ ); diese steigt mit der Rohdichte  $\rho$  des Baustoffes. Die in der Volumeneinheit aufgrund der Temperaturdifferenz  $T - T_u$  gegenüber der Umgebung gespeicherte Wärme  $q$  beträgt /3.28/:

$$q = c \cdot \rho \cdot (T - T_u) \quad \text{Gl. 3.9}$$

In der DIN 4108, Teil 2, in der Wärmedämmung und Wärmespeicherung behandelt werden, wird das Wärmespeichervermögen sowohl aus der Sicht des sommerlichen Wärmeschutzes (Überheizung) als auch beim winterlichen Wärmeschutz (richtige Schichtanordnung des konstruktiven Wandaufbaus) hervorgehoben, eine Berücksichtigung im Rechenverfahren ist nur indirekt über Baustoffwahl und Schichtanordnung gegeben /3.29/.

In der DIN 4701, Ausgabe 1983, Teil 1, wird die Qualität des Wärmespeichervermögens eines Gebäudes durch einen Korrekturfaktor zur Normaußentemperatur berücksichtigt. In Abhängigkeit vom Auskühlverhalten des Gebäudes ist es somit möglich, die Heizungsanlage kleiner auszulegen. Als Kriterium für das Auskühlverhalten wird eine außenflächenbezogene Speichermasse zugrunde gelegt, welche die Wärmekapazität eines Raumes bezogen auf dessen Außenfläche (Fenster und Außenwände) darstellt, der stationäre Rechenansatz wird davon nicht berührt /3.30 - 3.32/.

### 3.5.3 Wärmeschutz und Feuchtigkeit

Feuchte Baustoffe leiten Wärme erheblich besser ab als trockene, es ist daher im Sinne der Energieeinsparung, aber auch aus hygienischen Gründen notwendig, das Maß der Durchfeuchtung so weit wie möglich zu reduzieren.

Nach Austrocknen der Baufeuchtigkeit infolge der heute noch üblichen "nassen" Bauweise (Gegensatz Fertighäuser) bleibt in den Bauteilen eine Gleichgewichtsfeuchtigkeit zurück. Sie hängt von der Art und dem Aufbau des Bauteiles, der mittleren Lufttemperatur, der relativen Luftfeuchtigkeit, der Benutzungsart der betreffenden Räume (Küchen, Wohnräume) sowie der Orientierung der Bauteile (z. B. Wetterseite) ab. Diese Gleichgewichtsfeuchtigkeit ist bei den Wärmeleitzahlen für Baustoffe nach DIN 4108 bereits als Sicherheitszuschlag berücksichtigt /3.33/.

Während die Luftfeuchte in der DIN 4701 nicht berücksichtigt wird, wird die Gleichgewichtsfeuchte in Zusammenhang mit der Übernahme der  $\alpha$ -Werte aus der DIN 4108 berücksichtigt. Erhöhte Baufeuchte in der Austrocknungsphase des Baues (in den ersten 2 Jahren) kommt nicht in Anrechnung. Bekanntlich führt die Baufeuchte in dieser Zeit zu erhöhter Heizleistung. Bei der früher üblichen Überdimensionierung der Anlage war dies unproblematisch, die inzwischen verlangte knappe Auslegung könnte zur Unterheizung in dem Zeitraum der Bauaustrocknung führen /3.42/.

### 3.5.4 Wärmedurchgangsverluste eines Raumes

Die Wärmedurchgangsverluste  $\dot{Q}_T$  eines Raumes (Transmissionsverluste) werden nach DIN 4701 aus den Wärmedurchgangsverlusten der am Wärmeverlust beteiligten Bauteile (Fenster, Türen, Außenwände, Innenwände, Fußboden, Decke) ermittelt:

$$\dot{Q}_T = \sum_j A_j \cdot \dot{q}_j \quad \text{Gl. 3.10}$$

$A_j$  = Fläche des Bauteils

$\dot{q}_j$  = Wärmestromdichte des Bauteils

a) In der Fassung von 1959 ist

$$\dot{q}_j = k \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) \quad \text{Gl. 3.11}$$

$k$  = Wärmedurchgangszahl

$\vartheta_i$  = Raumlufttemperatur

$\vartheta_a$  = Außenlufttemperatur oder Temperatur  
benachbarter Räume

Dazu kommen noch Zuschläge zum Ausgleich kalter Außenflächen  $Z_A$  und Betriebsunterbrechnung  $Z_U$ , die in  $Z_D$  zusammengefaßt werden. Der Zuschlag  $Z_H$  (Himmelsrichtung) berücksichtigt den Einfluß der Orientierung eines Gebäudes bzw. der Sonnenstrahlung. Somit ergibt sich der Wärmedurchgangsverlust eines Raumes zu

$$\dot{Q}_T = \sum_j A_j \cdot \dot{q}_j \cdot (1 + Z_D + Z_H) \quad \text{Gl. 3.12}$$

(DIN 4701/1959)

b) In der Fassung von 1983, Teil 1, gilt für Außenbauteile

$$\dot{q} = k_N \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) \quad \text{Gl. 3.13}$$

$\vartheta_a$  = Normaußentemperatur

$\vartheta_i$  = Norminnentemperatur

$k_N$  = Norm-Wärmedurchgangskoeffizient

$$\text{mit } \vartheta_a = \vartheta_a' + \Delta \vartheta_a \quad \text{Gl. 3.14}$$

$\vartheta_a$  = Normaußentemperatur

$\Delta \vartheta_a$  = Außentemperatur-Korrektur

In Abhängigkeit des Wärmespeichervormögens und der Schwere der Bauart ergibt sich die Außentemperatur-Korrektur zu:

$$\begin{array}{ll} \text{Leichte Bauart:} & \Delta \vartheta_a = 0 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \text{Schwere Bauart:} & \Delta \vartheta_a = 2 \text{ } ^\circ\text{C} \\ \text{Sehr schwere Bauart:} & \Delta \vartheta_a = 4 \text{ } ^\circ\text{C} \end{array}$$

$$k_N = k + \Delta k_A + \Delta k_S \quad \text{Gl. 3.15}$$

$$k = 1/R_k \quad \text{Gl. 3.16}$$

Mit  $\Delta k_A$  (Außenflächenkorrektur) wird in Abhängigkeit der wärmedämmtechnischen Güte eines Bauteils die behaglichkeitsmindernde Strahlungswirkung kalter Bauteile berücksichtigt /3.38/.

Die Sonnenkorrektur ( $\Delta k_S$ ) trägt den Strahlungsgewinnen von Fenstern bezogen auf diffuse Himmelsstrahlung Rechnung. Sie ist immer negativ und von der Himmelsrichtung unabhängig.

Für Innenbauteile gilt:

$$\dot{q}_j = k \cdot (\vartheta_i - \vartheta_i') \quad \text{Gl. 3.17}$$

$$\vartheta_i' = \text{Norminnentemperatur im Nachbarraum}$$

### 3.6 Lüftungswärmeverluste

In Wohnungen ist eine Lüfterneuerung aus hygienischen und bauphysikalischen Gründen notwendig. Im Gegensatz zu der vom Nutzer herbeigeführten, gewollten Lüftung (Fenster öffnen) versteht man unter natürlicher Lüftung den selbständigen Luftwechsel bei geschlossenen Fenstern. Er ist abhängig von /3.34/:

- meteorologischen Einflüssen (Wind und Thermik),

- baulichen Gegebenheiten (Gebäudedichte, Gebäudelage, Gebäudehöhe, Fensterdichtheit, Wohnungsgröße, Lage und Orientierung der Wohnung, Lage und Art des Treppenhauses usw.).

Untersuchungen an Wohngebäuden haben gezeigt, daß der durch natürliche Lüftung bedingte Luftwechsel fast immer unter dem hygienisch notwendigen Minimum liegt. Die Dichtheit der Fenster ist dabei unerheblich, denn der notwendige Luftwechsel wird auch bei sehr undichten Fenstern nicht erreicht. Zu Zeiten, in denen die hygienisch notwendige Außenlufttrate aber geringer ist (z. B. nachts), ist über die natürliche Lüftung zumindest zeitweise eine ausreichende Lufterneuerung gegeben /3.35/. Neben der Lufterneuerung durch natürliche Lüftung ist immer dann eine zusätzliche Lüftung durch Fensterlüftung notwendig, wenn die Luftverschlechterung durch

- Kohlensäureproduktion und Sauerstoffverbrauch,
- Geruchsbildung und Luftverunreinigung,
- Wasserdampfproduktion

Unbehaglichkeit für die Rauminnsassen hervorruft.

Aufgrund der zeitweise unzureichenden natürlichen Lüftung ist es notwendig, daß die Fenster zur Lüftung der Wohnung geöffnet werden. Grundsätzlich sind hierbei zwei Lüftungsarten zu unterscheiden:

- Stoßlüftung,
- Dauerlüftung.

Bei der Stoßlüftung wird durch kurzzeitiges Öffnen eines oder mehrerer Fenster ein relativ großer Luftwechsel erreicht. Die Luftwechselzahl kann dabei erheblich schwanken. Dies ist jedoch unbedeutend, weil die Größe des gesamten Luftaustausches über die Zeitdauer des Lüftungsstoßes beeinflußt werden kann. Mit Hilfe der Stoßlüftung sind jedenfalls in Wohnräumen hygienisch einwandfreie Luftzustände zu erzielen /3.36/.



Anders verhält es sich bei der Dauerlüftung über das Fenster. Die in Deutschland hergestellten Fenster sind, von wenigen Konstruktionen abgesehen, für die Dauerlüftung ungeeignet. Bei den meisten Fensterarten ist es nicht möglich, durch beliebige Stellungen in kleinem Öffnungsbereich den Luftaustausch in einem Raum einigermaßen vernünftig zu dosieren. Die Öffnung kann z. B. nicht den wechselnden Witterungseinflüssen angepaßt werden. Deshalb ist auch mit den meisten Fenstern ein "gewünschter" Raumlftwechsel nicht zu erreichen.

Im Gegensatz zu Wohnräumen wird in Schlafräumen die Stoßlüftung normalerweise nicht angewendet. Bei unzureichender natürlicher Lüftung bleibt das Fenster über längere Zeit, häufig die ganze Nacht, geöffnet (gekippt). Der damit verbundene Luftaustausch liegt fast immer über dem notwendigen Muß.

Aus Bild 3.11 gehen die Einflüsse unterschiedlicher Lüftungsart auf den Wärmebedarf hervor /3.37/. Ausreichende Lüftung und Energieverschwendung sind deutlich hervorgehoben. Bei einer mittleren täglichen Lüftungsdauer von z. B. 4 Stunden führt das ganz geöffnete Fenster gegenüber einem gekippten Fenster (mit Querlüftung) zum doppelten Wärmeverbrauch.

Zur Ermittlung des Lüftungswärmebedarfs durch natürliche und gewollte Lüftung gibt es zwei Ansätze. Der erste geht auf die Fugendurchlässigkeit von beweglichen Außenbauteilen zurück und fand erstmals in der DIN 4701/59 Anwendung. Der zweite Ansatz geht vom physiologisch bedingten Mindest-Lüftungswärmebedarf aus, er wurde erstmals in der Ausgabe 1983 der DIN 4701 (Teil 1) berücksichtigt.

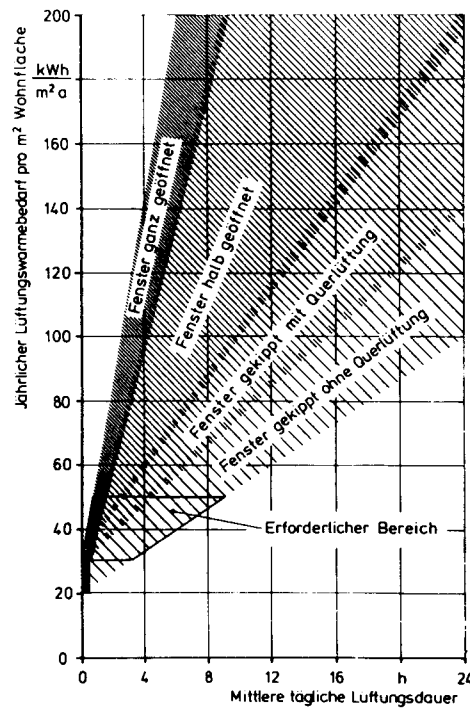


Bild 3.11: Jährlicher Lüftungswärmebedarf in Abhängigkeit unterschiedlicher Lüftungsdauer und verschiedener Fensterstellungen /3.37/

#### a) Fugendurchlässigkeit

Errechnet werden die Lüftungswärmeverluste über die Durchlässigkeit der angeblasenen Fugen (s. Bild 3.12) /3.46/:

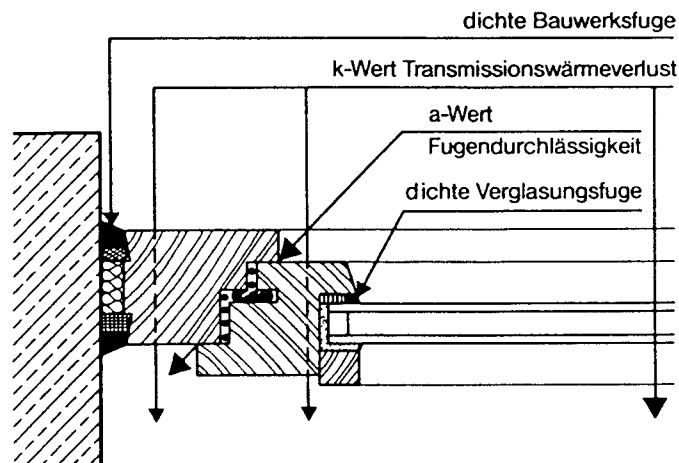


Bild 3.12: Wärmeverluste eines Fensters durch Fugendurchlässigkeit und Wärmedurchgang /3.46/

$$\sum (a \cdot l)_A$$

Gl. 3.18

a = Durchlässigkeit der Fugen  
l = Fugenlänge der angeblasenen Fenster und Türen  
A = Index für angeblasen

Weiterhin Einfluß haben die Raumkenngröße R und die Hauskenngröße H. Die Raumkenngröße ist von dem Verhältnis der Durchlässigkeiten der angeströmten Öffnungen zu den Durchlässigkeiten der Abstromöffnungen eines Raumes abhängig und kann Tabellen entnommen werden

$$R = \frac{1}{\frac{\sum (a \cdot l)_A}{\sum (a \cdot l)_N} + 1}$$

Gl. 3.19

N = Index für nicht angeblasen

Die Hauskenngröße H berücksichtigt Lage, Gegend und Bauweise eines Hauses. Sie kann in Abhängigkeit der Art der Gegend und der Windstärke einer Gegend nach Hausart gegliedert einer Tabelle entnommen werden (s. Tab. 3.1) /3.38/. Es gilt für den Lüftungswärmebedarf ( $\dot{Q}_L$ ):

		Hauskenngröße H	
		Reihenhaus *)	Einzelhaus
Normale Gegend	geschützte Lage	0,24	0,34
	freie Lage	0,41	0,58
	außergewöhnlich freie Lage	0,60	0,84
Windstarke Gegend	geschützte Lage	0,41	0,58
	freie Lage	0,60	0,84
	außergewöhnlich freie Lage	0,82	1,13
*) Zu der Gruppe der Reihenhäuser gehören in diesem Zusammenhang alle Häuser mit mehreren Wohnungen oder abgetrennten Raumgruppen in einem Geschöß.			

Tab. 3.1: Hauskenngröße H zur Berücksichtigung von Lüftungswärmeverlusten nach DIN 4701/Ausgabe 1959 /3.38/

$$\dot{Q}_L = \sum (a \cdot l)_A \cdot R \cdot H \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) \cdot Z_E \quad \text{Gl. 3.20}$$

(DIN 4701/59)

bzw.

$$\dot{Q}_L = \epsilon_{GA} \cdot \sum (a \cdot l)_A \cdot H \cdot R \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) \quad \text{Gl. 3.21}$$

(DIN 4701/83)

mit  $Z_E$  = Eckfensterzuschlag  
 $\vartheta_i$  = Innentemperatur  
 $\vartheta_a$  = Außentemperatur  
 $\epsilon_{GA}$  = Höhenkorrekturfaktor

In der Fassung der DIN 4701/1983 entfällt also der Eckfensterzuschlag, der Höhenkorrekturfaktor berücksichtigt den Einfluß von Wind und Auftrieb.

#### c) Mindest-Lüftungswärmebedarf

Für Daueraufenthaltsräume (Wohnräume, Schlafräume, Büros u. a.) muß ein aus hygienischen Gründen erforderlicher Mindestwert für die Lüfterneuerung vorausgesetzt werden. Man geht dabei für den Mindestluftvolumenstrom von einem bestimmten Vielfachen des Raumvolumens aus (Mindestluftwechsel).

Für den Mindestwert des Norm-Lüftungswärmebedarfs gilt:

$$\dot{Q}_{Lmin} = \beta_{min} \cdot V_R \cdot c \cdot \varrho \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) \quad \text{Gl. 3.22}$$

Hierin bedeuten:

$\beta_{min}$  = Mindestluftwechsel  
 $V_R$  = Raumvolumen  
 $c$  = spez. Wärmekapazität der Luft  
 $\varrho$  = Dichte der Luft

Bei Daueraufenthaltsräumen ergibt sich unter der Annahme eines 0,5fachen stündlichen Raumlufwechsels für den Mindestwert des Norm-Lüftungswärmebedarfs

$$\dot{Q}_{Lmin} = 0,17 \cdot V_R \cdot (\vartheta_i - \vartheta_a) \quad \text{Gl. 3.23}$$

### 3.7 Nutzereinflüsse und interne Lasten

Infolge des starken Anstiegs der Energiekosten wird in der Praxis zunehmend von der Einstellung reduzierter Raumtemperaturen Gebrauch gemacht, während die Norm bisher von der gleichmäßigen Vollbeheizung aller Räume ausgeht. Diese Nutzereinflüsse können erstmals mit der DIN 4701/83 einbezogen werden. Dies bedingt jedoch, daß die Raumheizflächen in den vollbeheizten Räumen vergrößert werden müssen, weil der Wärmebedarf ansteigt, da zusätzlich Verluste zu den geringer beheizten Räumen anfallen /3.55/.

Interne Wärmequellen, wie Wärmeabgabe von Personen, Beleuchtungs- und Maschinenwärme, die zu einer Teilabdeckung des Wärmebedarfs in der Realität führen, kommen bei der DIN 4701 nicht in Anrechnung. Es wird sozusagen der Fall der Höchstlast bei Ausfall dieser Wärmequellen angenommen.

### 3.8 Wärmebedarf eines Gebäudes

Die DIN 4701 (Ausgabe 1959) bezieht sich in ihren Ausführungen lediglich auf die raumweise Bestimmung des Wärmebedarfs, wie der Gebäudewärmebedarf zu ermitteln ist, wird nicht angegeben. In der Praxis wurde der Gebäudewärmebedarf durch Summation des Wärmebedarfs aller Räume ermittelt. Dies führte zu einem überhöhten Wärmebedarf, der der Realität nicht entsprach /3.39-3.41/. Während die Transmissionsverluste verursachergerecht angesetzt wurden, führte die volle Anrechnung des Lüftungswärmebedarfs aller Räume zu überhöhter Rechnung.

Die DIN 4701 (Ausgabe 1983) legt nun den Wärmebedarf eines Gebäudes fest:

$$\dot{Q}_{N, \text{Geb.}} = \sum_j \dot{Q}_{T, j} + \zeta \cdot \sum_j \dot{Q}_{L, j} \quad \text{Gl. 3.24}$$

Hierin bedeuten:

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{T, j} &= \text{Norm-Transmissionswärmebedarf des Raumes } j \\ \dot{Q}_{L, j} &= \text{Norm-Lüftungswärmebedarf des Raumes } j \\ \zeta &= \text{gleichzeitig wirksamer Lüftungswärmeanteil} \end{aligned}$$

Der Faktor  $\zeta$  wird über die Windverhältnisse vor Ort und durch die Gebäudehöhe bestimmt. Bei Gebäuden unter 10 m Höhe gilt generell:

$$\dot{Q}_{N,Geb.} = \sum_j \dot{Q}_{T,j} + 0,5 \cdot \sum_j \dot{Q}_{L,j} \quad \text{Gl. 3.25}$$

### 3.9 Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden

Vor der Einführung der Wärmeschutzverordnung im Jahre 1977 legte die DIN 4108/69 "Wärmeschutz im Hochbau" die Mindestwerte für Aufenthaltsräume fest /3.61/. Für einzelne Bauteile waren in Abhängigkeit dreier Wärmeschutzgebiete Wärmedurchlaßwiderstände ( $1/\Lambda$ ) tabellarisch vorgegeben.

Zur Erfüllung der Anforderungen der Wärmeschutzverordnung sind zwei Verfahren zulässig /3.61/. Im ersten Verfahren darf in Abhängigkeit vom A/V-Verhältnis des Gebäudes ein bestimmter mittlerer  $k_{m,max}$ -Wert für alle Bauteile nicht überschritten werden.

Die Berechnung des  $k_m$ -Wertes erfolgt nach

$$k_m = \frac{k_W \cdot A_W + k_F \cdot A_F + 0,8 \cdot k_D \cdot A_D + 0,5 \cdot k_G \cdot A_G}{A} \quad \text{Gl. 3.26}$$

mit A = Fläche

k = Wärmedurchgangskoeffizient

Indices: W = Außenwand  
F = Fenster  
D = Dach  
G = Grundfläche  
m = mittel

Der maximal zulässige mittlere Wärmedurchgangskoeffizient wird ermittelt nach

$$k_{m,max} = C_1 + C_2 / (A/V) \quad \text{Gl. 3.27}$$

A = Hüllflächen des Gebäudes

V = Hüllvolumen des Gebäudes

$C_1, C_2$  = Konstanten

Die Konstanten  $C_1$  und  $C_2$  werden in Abhängigkeit des A/V-Verhältnisses des Gebäudes sowie der Gebäudenutzungsart vorgegeben.

Bis auf die Fenster können die k-Werte für die Bauteile bis zum Bereich der Mindestanforderungen der geltenden DIN 4108 frei gewählt werden, wenn der vorgeschriebene  $k_{m,max}$ -Wert nicht überschritten wird. Fenster sind mindestens mit Isolier- oder Doppelverglasungen auszuführen.

Darüber hinaus mußte in der Fassung von 1977 ein mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient für Außenwände und Fenster geschoßweise erfüllt sein:

$$k_{m,W+F} = \left( \frac{k_W \cdot A_W + k_F \cdot A_F}{A_W + A_F} \right)_{\text{Geschoß}} \leq 1,85 \text{ (W/m}^2\text{K)} \quad \text{Gl. 3.28}$$

In der Fassung von 1982 muß die Bedingung nur noch für aneinander gereihete Gebäude mit

$$k_{m,W+F} \leq 1,6 \text{ (W/m}^2\text{K)} \quad \text{Gl. 3.29}$$

erfüllt sein.

Im zweiten Verfahren, dem Bauteilverfahren, sind k-Werte für Fenster, Decken und Dach fest vorgeschrieben. Der k-Wert für die Außenwand bestimmt sich dann aus dem gesamten k-Wert für Wände und Fenster ( $k_{m,W+F}$ ). Einflußfaktoren bei der Festlegung des  $k_{m,W+F}$ -Wertes sind die Grundrißform des Gebäudes sowie der Fensterflächenanteil an der Gesamtaußenfläche aus Wänden und Fenstern.

Aus Tab. 3.2 wird die Entwicklung der Anforderungen innerhalb des hier betrachteten Zeitraumes ersichtlich. Als Ziel einer weiteren Novellierung der Wärmeschutzverordnung wird häufig die Norm zu Schweden genannt, sie wurde deshalb zur Einschätzung der zusätzlichen Anforderungen ebenfalls aufgeführt.

Bauteil	k-Wert (W/m <sup>2</sup> K)	DIN 4108 v. 1969	Wärmeschutzverordnung v. 1977 <sup>1)</sup>	Wärmeschutz- verordnung v. 1982 <sup>1)</sup>	Norm in Schweden <sup>3)</sup>
Außenwand	k <sub>W</sub>	1,56	0,90 <sup>2)</sup>	0,57 <sup>4)</sup>	0,30
Fenster	k <sub>F</sub>	5,2	3,5	3,1	2,0
Dächer, Dachdecken	k <sub>D</sub>	0,80	0,45	0,30	0,20
Decken unter nicht ausgebautem Dach	k <sub>D</sub>	1,10	0,45	0,30	0,20
Kellerdecken	k <sub>G</sub>	1,02	0,80	0,55	0,50
<sup>1)</sup> nach Verfahren Nr. 2, feste k-Werte <sup>2)</sup> für k <sub>m,W+F</sub> ≤ 1,55 mit 25 % Fensteranteil <sup>3)</sup> Werte gelten für Südschweden, in Nordschweden höhere Werte <sup>4)</sup> für k <sub>m,W+F</sub> ≤ 1,20 mit 25 % Fensteranteil					

Tab. 3.2: Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden nach dem Bauteilverfahren im Vergleich verschiedener Normen (k-Werte in W/m<sup>2</sup>K)

### 3.10 Auswahl von Haustypen und Ermittlung von Eingabewerten

Zur Festlegung möglichst repräsentativer Haustypen ist es erforderlich, die Gebäudestruktur und die Neubautätigkeit im untersuchten Versorgungsgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes zu beschreiben. Im Anschluß daran folgt die Darstellung der diesen Haustypen zugeordneten Wärmebedarfsergebnisse.



3.10.1 Strukturdaten des Gebäudebestandes des Versorgungsgebietes des Rheinisch-Westfälischen-Elektrizitätswerkes und des Bundesgebietes

Bild 3.13 zeigt die geographische Lage des Versorgungsgebietes des Rheinisch-Westfälischen-Elektrizitätswerkes (RWE). Das Versorgungsgebiet reicht vom Großraum Osnabrück bis nach Trier. Es ist stark ländlich strukturiert, fast jeder zweite Haushalt wohnt in einem Ort mit weniger als 20 000 Einwohnern, während

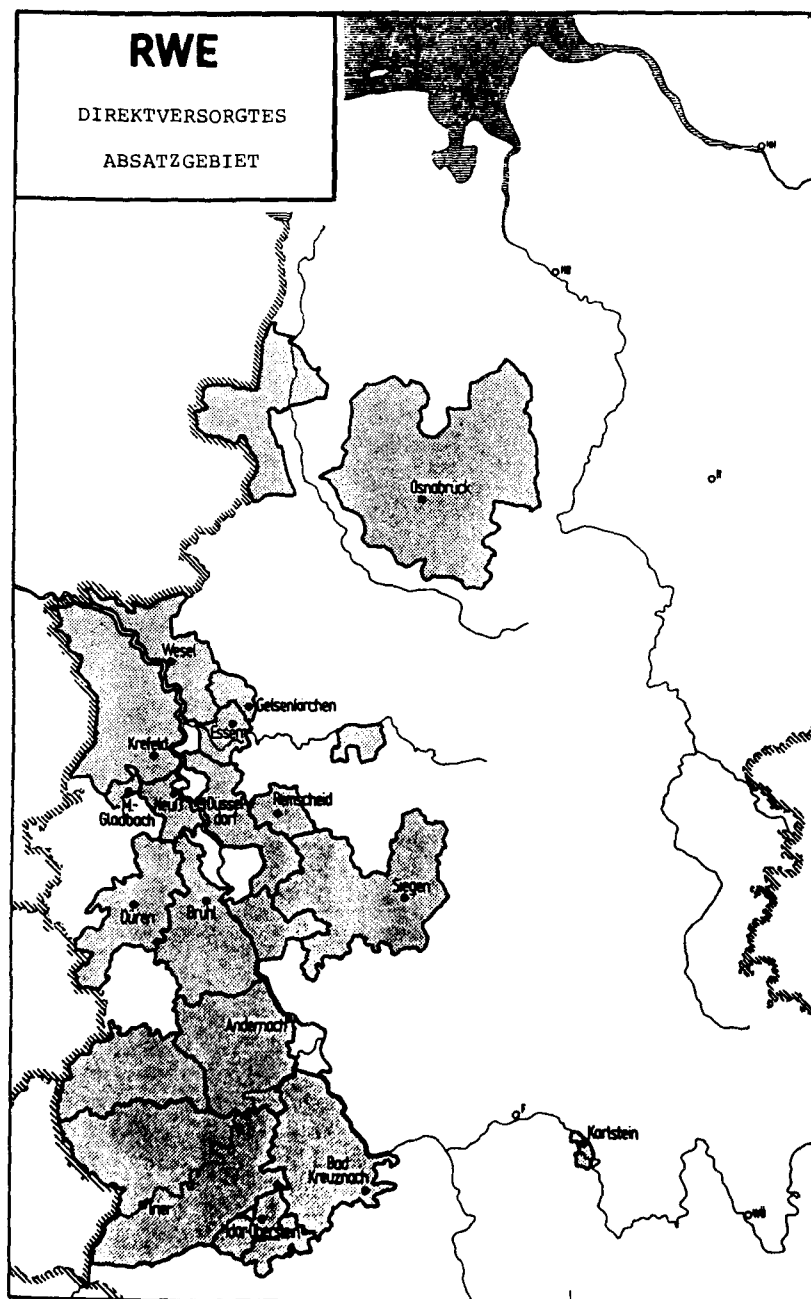


Bild 3.13: Versorgungsgebiet des Rheinisch-Westfälischen-Elektrizitätswerkes (RWE) in Essen

nur jeder 4. Haushalt in Großstädten über 100 000 Einwohner liegt. Es schließt aber auch baulich hoch verdichtete Städte wie Düsseldorf und Essen ein /3.63/.

	RWE		Bundesgebiet	
	1976	1981	1976	1981
Anteil (%):				
-Wohnungseigentümer	47,8	52,2	44,0	44,0
-Einfamilienhäuser	32,2	35,1	29,5	27,0
-Zweifamilienhäuser	24,6	22,6	24,3	21,4
0 Wohnfläche (qm)	83,6	87,5	82,1	82,5
0 Wohnräume (Anzahl)	( 3,8)	4,6	( 3,7)	4,3
0 Baujahr des Hauses	1949	1952	1950	1951
Ortsgröße: Anteil (%)				
- bis 20.000 Einwohner	51,1	46,7	44,8	44,9
- 20.000 - 100.000 Einwohner	23,3	27,3	14,9	14,8
- über 100.000 Einwohner	25,6	26,0	40,3	40,3

Tab. 3.3: Vergleich der Gebäudestrukturdaten des Versorgungsgebietes des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes und des Bundesgebietes /3.62, 3.63/

Tab. 3.3 zeigt einen Vergleich der Ortsgrößenanteile der Wohnungen des RWE-Versorgungsgebietes mit denen der Bundesrepublik in den Jahren 1976 und 1981. Diese Ergebnisse erlauben, daß gebäudebezogene Daten in guter Näherung auf das Bundesgebiet übertragen werden können. Vergleicht man die Gebäudeart, so kann man feststellen, daß der Anteil an Ein- u. Zweifamilienhäusern größer ist als im Bundesgebiet. Während die Struktur des Ortsgrößenanteils im Bundesgebiet praktisch unverändert blieb, hat sich die Neubautätigkeit im RWE-Versorgungsgebiet vorwiegend in der Ortsgröße 20-100 000 Einwohner abgespielt.

Der Vergleich der Strukturdaten ist auch deswegen wichtig, weil die unterstellte RWE-Statistik primär zur Erfassung der Heizungsstruktur angelegt ist und Daten der Bautätigkeit nicht berücksichtigt, daher mußte auf Daten des Statistischen Bundesamtes zurückgegriffen werden.

Bild 3.14 zeigt die Entwicklung der Wohnflächen in Ein- u. Zweifamilienhäusern im Bundesgebiet in den Jahren 1972 - 1982 /3.64, 3.65/.

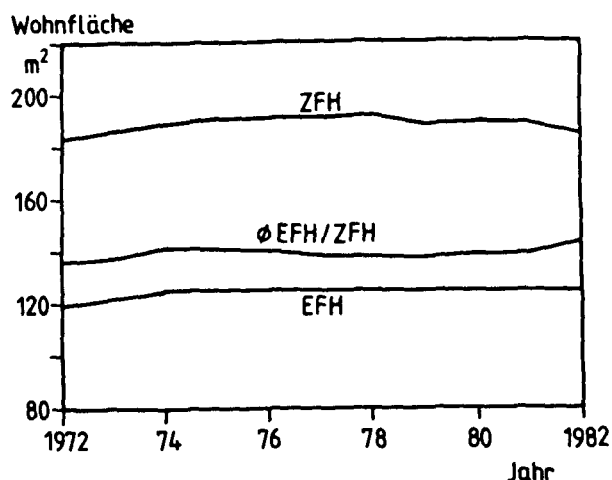


Bild 3.14: Neubau-Wohnflächenentwicklung in Ein- u. Zweifamilienhäusern in der Bundesrepublik Deutschland  
EFH = Einfamilienhaus, ZFH = Zweifamilienhäuser

Zunächst ist wichtig, daß es nach starker Zunahme der Wohnflächen in der hier nicht dargestellten Nachkriegszeit offenbar zu einer Sättigung im Ein- und Zweifamilienhausbau gekommen ist (vgl. /3.66/). Im betrachteten Zeitraum gibt es kaum noch Verschiebungen. Zusätzlich eingetragen ist der gewichtete Wohnflächendurchschnitt nach Wohnflächenanteilen dieser Gebäudearten.

Auf der Basis der dargestellten Ergebnisse werden 3 Haustypen mit

- 100 m<sup>2</sup> Wohnfläche
- 140 m<sup>2</sup> "
- 190 m<sup>2</sup> "

ausgewählt. Die Wohnfläche von 100 m<sup>2</sup> wird einem Einfamilien-Reihenhaus zugeordnet, während 140 m<sup>2</sup> ein freistehendes Einfamilienhaus repräsentieren. Der Bereich Zweifamilienhaus wird

durch ein Wohnhaus der Fläche  $190 \text{ m}^2$  berücksichtigt. Die Zuordnungen in Anlehnung an die dargestellten Daten wurde vorgenommen, um dem gesamten Ein- und Zweifamilienhausbestand auch im Hinblick auf extreme Grenzwerte abbilden zu können.

### 3.10.2 Berechnungsunterlagen und Eingabewerte

Im Zusammenhang mit der Wärmebedarfsberechnung werden folgende Arbeitsschritte durchlaufen:

1. Entwurf des Gebäudes
2. Festlegung der Baustoffe
3. Nachweis der Anforderungen der  
Wärmeschutzverordnung
4. Berechnung des Wärmebedarfs nach DIN 4701

Für Schritt 4 werden folgende Unterlagen benötigt:

1. Bauzeichnungen mit Lagebezeichnung
2. Baugeometrische Kenndaten
3. Baustoffwerte

Die den Berechnungen zugrunde liegenden Bauzeichnungen sind in den Bildern 3.15 - 3.17 wiedergegeben. Die baugeometrischen Kenndaten sind in Tab. 3.4 aufgeführt. Sie sind Eingabewert für den Wärmeschutznachweis und geben einen Überblick über die Anteile der einzelnen Bauflächen. Die für die raumweise Berechnung des Wärmebedarfs benötigten Werte werden den Bildern 3.15-3.17 entnommen. Die nach Erfüllung des Wärmeschutznachweises (Bauteilverfahren) sich ergebenden Wärmedurchgangskoeffizienten sind in Tab. 3.5 wiedergegeben. Sie orientieren sich an den Mindestvorschriften der jeweils geltenden Wärmeschutzanforderungen.

Für die wichtigsten Einflußfaktoren werden folgende Annahmen getroffen:

- 1) Die Außenlufttemperatur wird nach 3 Klimazonen ermittelt.
- 2) Windstärke und Lage bestimmen den Standorteinfluß der Gebäude. Windschwache und windstarke Gegenden werden mit geschützter und freier Lage kombiniert.
- 3) Den ausgewählten Gebäuden werden folgende Gebäudeformen zugeordnet:
  - a) Das Reihenhauses (100 m<sup>2</sup>) in Mittellage wird in zweigeschossiger Bauweise mit Flachdach ausgeführt.
  - b) Das freistehende Einfamilienhaus (140 m<sup>2</sup>) ist als 1 1/2geschossiges Satteldachhaus geplant.
  - c) Das ebenfalls freistehende Zweifamilienhaus (190 m<sup>2</sup>) wird durch einen eingeschossigen Flachdach-Winkelbungalow repräsentiert.

Die Kompaktheit der Gebäude nimmt entsprechend der Gebäudeform vom Reihenhauses zum Winkelbungalow ab.

- 4) Bei der Gebäudeorientierung wird eine Zuordnung der Wohnräume mit den größten Fensterflächen nach Süd bzw. Süd-West vorausgesetzt.
- 5) Die Bauausführung erfolgt in schwerer Bauart. Dies hat zur Folge, daß mit Gültigkeit der DIN 4701/1983 die Außenlufttemperatur um 2 °C erhöht wird.
- 6) Die Komfortansprüche werden im ganzen Betrachtungszeitraum ohne Veränderungen berücksichtigt, d. h. es wird eine Beheizung aller Räume entsprechend ihrer Nutzungsart angesetzt.

Parameter	H a u s t y p		
	Flachdach-Reihenhaus	Satteldachhaus (45°)	Flachdach-Winkelbungalow
Bauweise	Mittellage	freistehend	freistehend
Nutzungsart	Einfamilienh.	Einfamilienh.	Einfamilienh.
Wohnfläche	100 m <sup>2</sup>	140 m <sup>2</sup>	190 m <sup>2</sup>
Grundfläche	65 m <sup>2</sup>	108 m <sup>2</sup>	230 m <sup>2</sup>
Dachfläche	65 m <sup>2</sup>	131 m <sup>2</sup>	230 m <sup>2</sup>
Wandfläche	59 m <sup>2</sup>	120 m <sup>2</sup>	129 m <sup>2</sup>
Fensterfläche	25 m <sup>2</sup>	34 m <sup>2</sup>	55 m <sup>2</sup>
davon Dachfensterfläche	-	4	1
Anteil Fensterfläche (an Wand und Fenster)	0,30	0,20	0,30
lichte Geschoßhöhe	2,50	2,50 m	2,50 m
Hüllfläche A	215 m <sup>2</sup>	393	644
Hüllvolumen V	358 m <sup>3</sup>	503 m <sup>3</sup>	633 m <sup>3</sup>
Verhältnis A/V	0,54 m <sup>-1</sup>	0,78 m <sup>-1</sup>	1,01 m <sup>-1</sup>

Tab. 3.4: Baugeometrische Kenndaten der ausgewählten Haustypen

Bauteil	N o r m	H a u s t y p		
		Reihen- haus	Satteldach- haus	Winkel- bungalow
Wand	DIN 4108/69 Zone 1 Zone 2 Zone 3 WSchV 1977 1982	k-Werte ( $\text{W/m}^2\text{K}$ )		
		1,81	1,81	1,81
		1,57	1,57	1,57
		1,38	1,38	1,38
		1,0	0,94	0,71
		0,81	0,71	0,39
Fenster	DIN 4108/69 Zone 1 Zone 2 Zone 3 WSchV 1977 1982	5,20	5,20	5,20
		5,20	5,20	5,20
		2,60	2,60	2,60
		3,50	3,50	3,50
		3,10	3,10	3,10
Dach	DIN 4108/69 WSchV 1977 1982	0,80	0,80	0,80
		0,45	0,45	0,45
		0,30	0,30	0,30
Dachdecke (nichtaus- gebautes Dach)	DIN 4108/69 WSchV 1977 1982	1,13	1,13	1,13
		0,45	0,45	0,45
		0,30	0,30	0,30
Keller- decke	DIN 4108/69 WSchV 1977 1982	1,01	1,01	1,01
		0,80	0,80	0,80
		0,55	0,55	0,55

Tab. 3.5: Vorgegebene bzw. errechnete Werte der Wärmedurchgangskoeffizienten (k-Werte) der wichtigsten Bauteile (nach Bauteilverfahren der Wärmeschutzverordnung-WSchV)

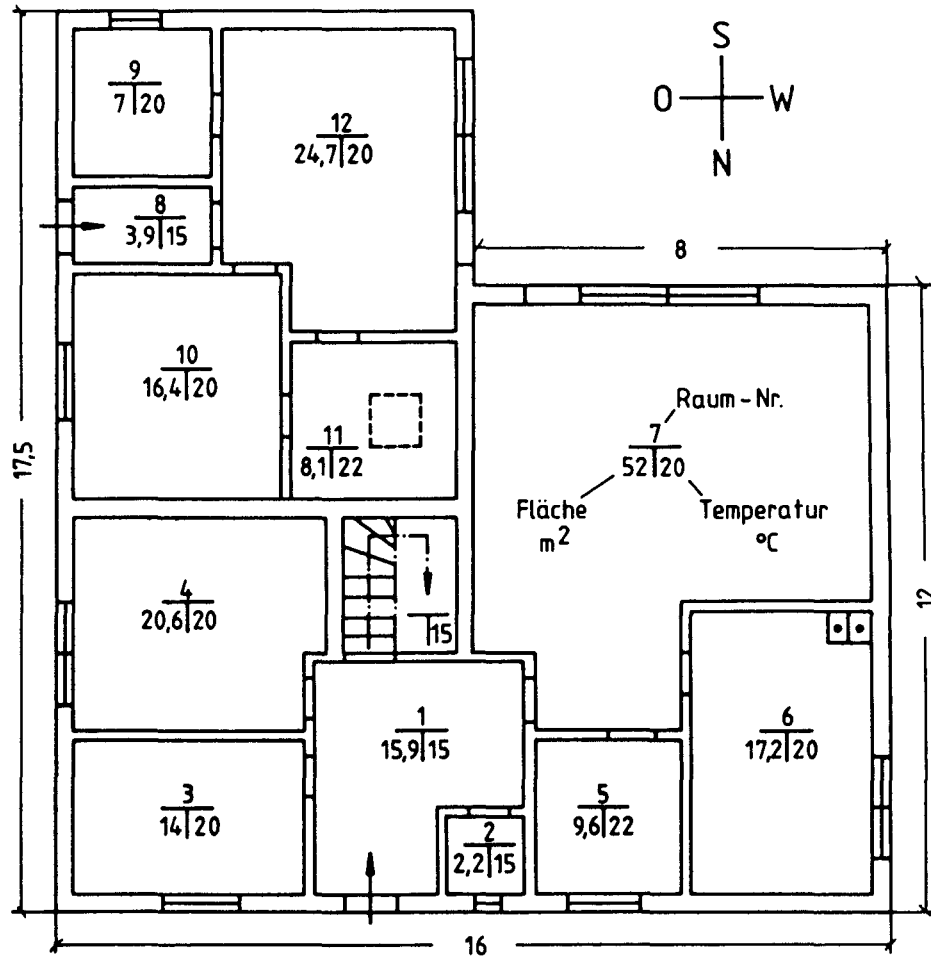


Bild 3.15: Grundriß (M 1:100) des Zweifamilien-Winkelbungalows (Flachdach)

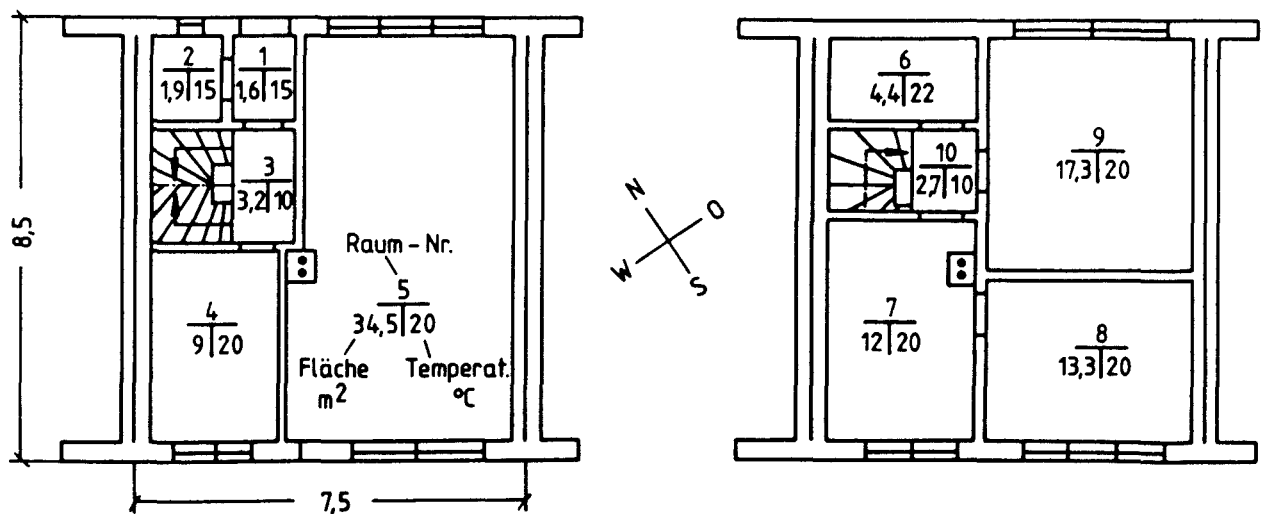


Bild 3.16: Grundriß (M 1:100) des Einfamilien-Reihenhauses (Flachdach)



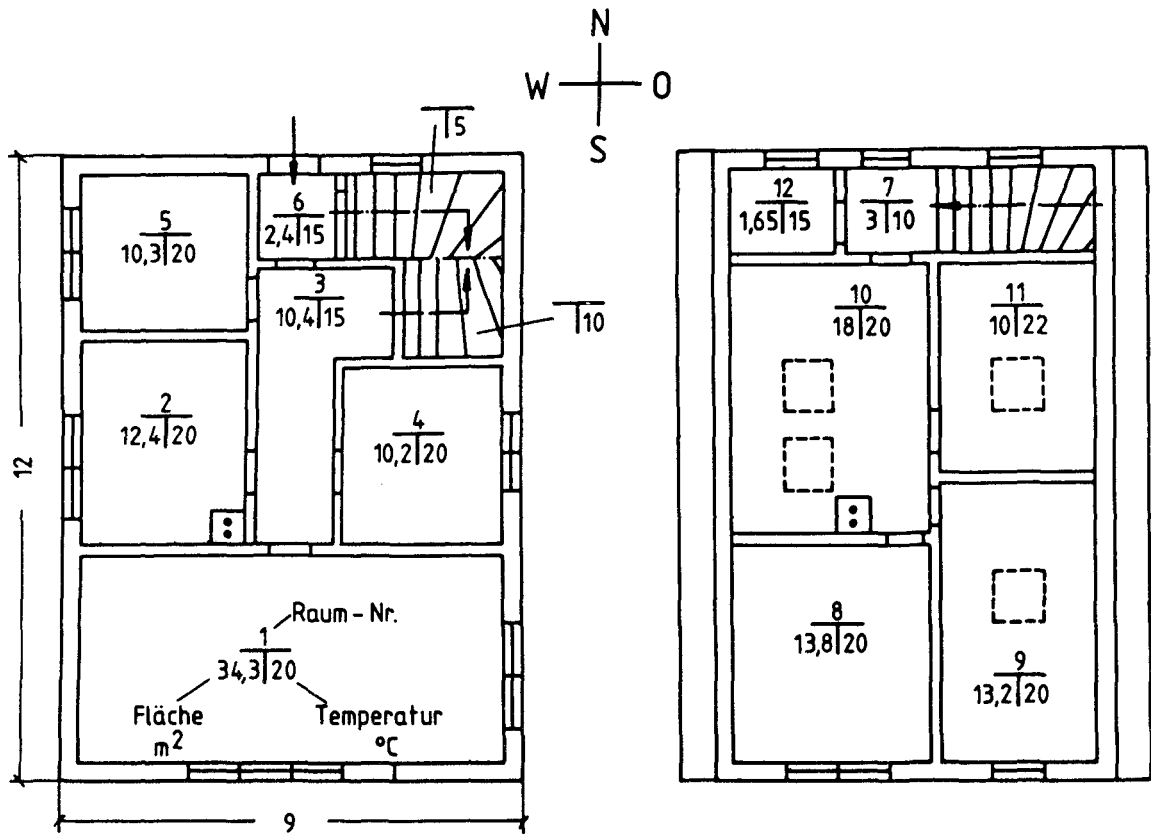


Bild 3.17: Grundriß (M 1:100) des Einfamilien-Satteldachhauses (45° Dachneigung)

### 3.10.3 Ergebnisse der Wärmebedarfsrechnungen

Die Wärmebedarfsrechnungen wurden mit neu entwickelten Rechenprogrammen erarbeitet, die es gestatten, innerhalb der sich verändernden methodischen und bauphysikalischen Anforderungen für Gebäudegrößen zwischen 80 und 200 m<sup>2</sup> Wohnfläche den Wärmebedarf exakt zu erfassen.

In Tab. 3.6 sind die Ergebnisse der Wärmebedarfsrechnungen für die 3 Standardhäuser aufgeführt. Die Wärmebedarfswerte für den Wärmedurchgang ( $\dot{Q}_T$ ) sowie für die Lüftung ( $\dot{Q}_L$ ) und für das Gebäude ( $\dot{Q}_N$ ) orientierten sich an den jeweils geltenden Regeln und beziehen sich auf 3 Klimazonen.

Wärmebedarf		DIN 4701/59						DIN 4701/83					
Wärmeschutz		DIN 4108/69			WSchV/77			WSchV/77			WSchV/82		
Klimazone Z		Z1	Z2	Z3	Z1	Z2	Z3	Z1	Z2	Z3	Z1	Z2	Z3
Normaußen- temperatur °C		-12	-15	-18	-12	-15	-18	-8	-10	-14	-8	-10	-14
Haustyp	$\dot{Q}$ (kW)												
Reihen- haus 100 m <sup>2</sup>	$\dot{Q}_L$	2,1	2,3	2,6	2,1	2,3	2,6	1,3	1,4	1,5	1,3	1,4	1,5
	$\dot{Q}_T$	10,1	10,6	8,6	6,6	7,3	7,8	5,5	5,9	6,7	4,5	4,8	5,4
	$\dot{Q}_N$	12,2	12,9	11,2	8,7	9,6	10,4	6,2	6,6	7,5	5,1	5,5	6,2
Sattel- dachhaus 140 m <sup>2</sup>	$\dot{Q}_L$	3,9	4,3	4,7	3,9	4,3	4,7	1,7	1,8	2,1	1,7	1,8	2,1
	$\dot{Q}_T$	16,7	17,4	14,8	9,8	10,7	11,6	8,2	8,8	10,0	6,5	7,0	7,9
	$\dot{Q}_N$	20,6	21,7	19,5	13,7	15,0	16,3	9,0	9,7	11,0	7,4	7,9	8,9
Winkel- bungalow 190 m <sup>2</sup>	$\dot{Q}_L$	6,9	7,9	8,9	6,9	7,9	8,9	2,2	2,8	3,2	2,2	2,8	3,2
	$\dot{Q}_T$	22,6	23,9	18,8	11,4	12,1	12,9	11,9	12,7	14,4	8,8	9,2	10,4
	$\dot{Q}_N$	29,5	31,2	27,7	18,3	20,0	21,8	13,0	14,1	16,0	9,9	10,6	12,0

Tab. 3.6: Ergebnisse der Wärmebedarfsrechnungen ( $\dot{Q}$ ) für 3 Haustypen für normale Lage nach DIN 4701  
(Indices: L = Lüftung, T = Transmission, N = Normwärmebedarf)

Für die Klimazone 2 sind die Wärmebedarfswerte für das Gebäude ( $\dot{Q}_N$ ) in Abhängigkeit der Wohnfläche in Bild 3.18 dargestellt. Deutlich wird der sich verringernde Anstieg der Kurven infolge erhöhter Wärmeschutzanforderungen. Dieser Effekt wird besonders anschaulich, wenn man spezifische Werte (hier bezogen auf die Wohnfläche) bildet (s. Bild 3.19). Während es unter den Bedingungen der DIN 4701/59 in Verbindung mit der DIN 4108/69 noch Differenzen in den spezifischen Werten zwischen Reihenhaushaus und freistehenden Häusern gab, sind sie für neuere Bedingungen praktisch verschwunden.

Die Rechnungen nach Tab. 3.6 gehen von mittleren Verhältnissen bezüglich Fensterflächenanteil und Windeinfluß aus. In Bild 3.20 wurde eine weitere Veränderung der Fensterflächenanteile für das freistehende Satteldachhaus bei zusätzlicher Variation der Lage des Hauses vorgenommen. Die auf der Basis der DIN 4701/59 berechneten Werte zeigen eine starke Abhängigkeit von diesen Veränderungen. Als Beispiel seien die bis 1977 geltenden Bedingungen genannt. Die mit 2) gekennzeichnete Situation bezieht sich auf eine Außentemperatur von  $-15^{\circ}\text{C}$ . In diesem Fall beträgt das Verhältnis der Lüftungswärmeverluste zu den Transmissionswärmeverlusten

$$\dot{Q}_L / \dot{Q}_T = 4.3 / 17.4 \sim 0,25$$

Durch Vergrößerung des Fensterflächenanteils von 20 % auf 30 % bei Einbeziehung einer windstarken Lage ergeben sich folgende Verhältnisse

$$\dot{Q}_L / \dot{Q}_T = 10.2 / 17.4 \sim 0,60$$

Diese Berechnungen zeigen, daß die extremen Bedingungen des Bildes 3.6 (freie Lage gegenüber exponierter Lage) durch die unterstellten Windeinflüsse übertroffen werden. Während dort ein Faktor 2 zwischen den Lüftungswärmeverlusten genannt wurde, ergibt sich hier einer von etwa 2,4.

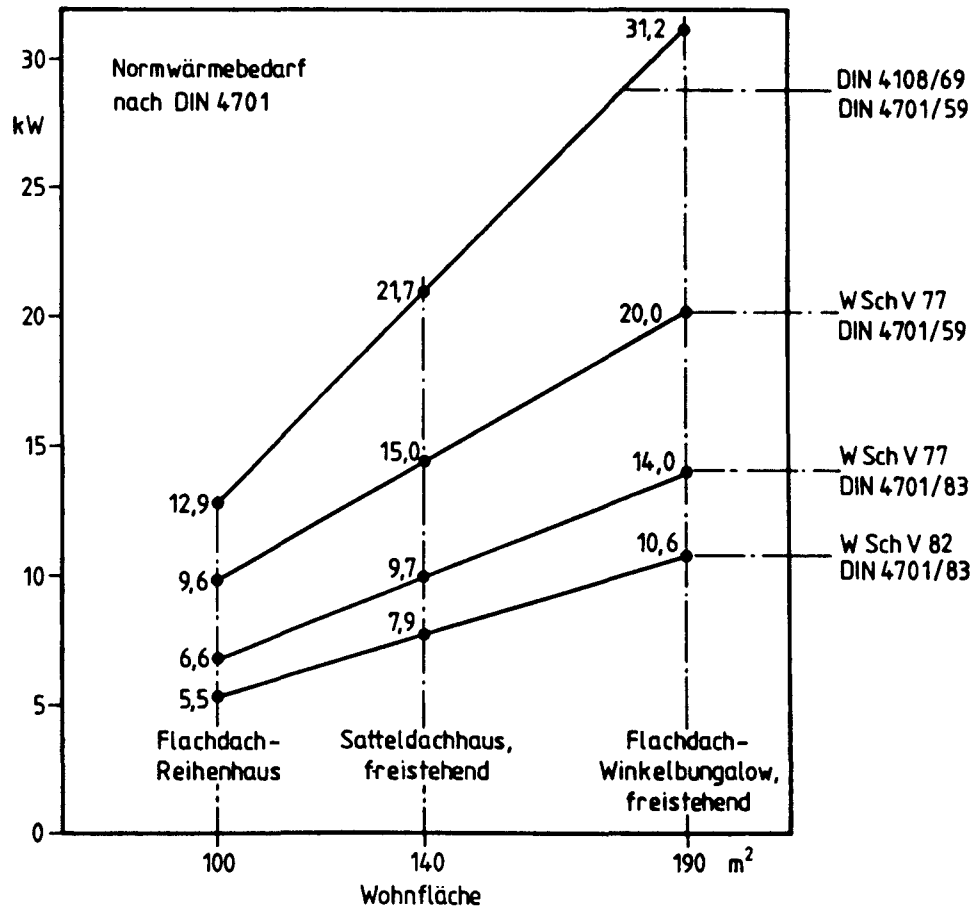


Bild 3.18: Wärmebedarf verschiedener Gebäude nach DIN 4701 bei normaler Lage für die Klimazone 2

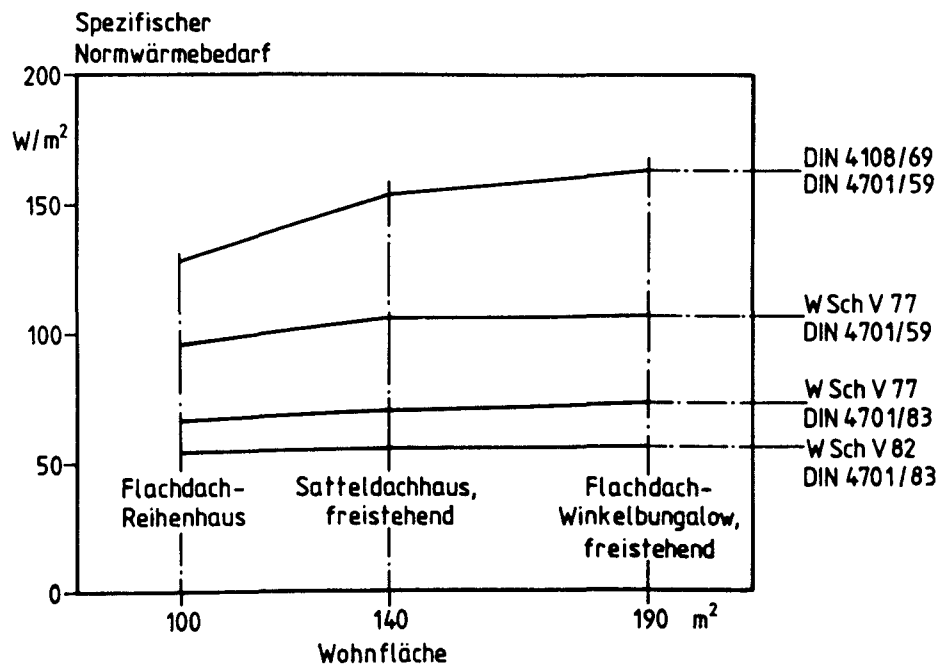


Bild 3.19: Spezifischer Wärmebedarf ( $\text{W/m}^2$ ) verschiedener Gebäude nach DIN 4701 bei normaler Lage für die Klimazone 2

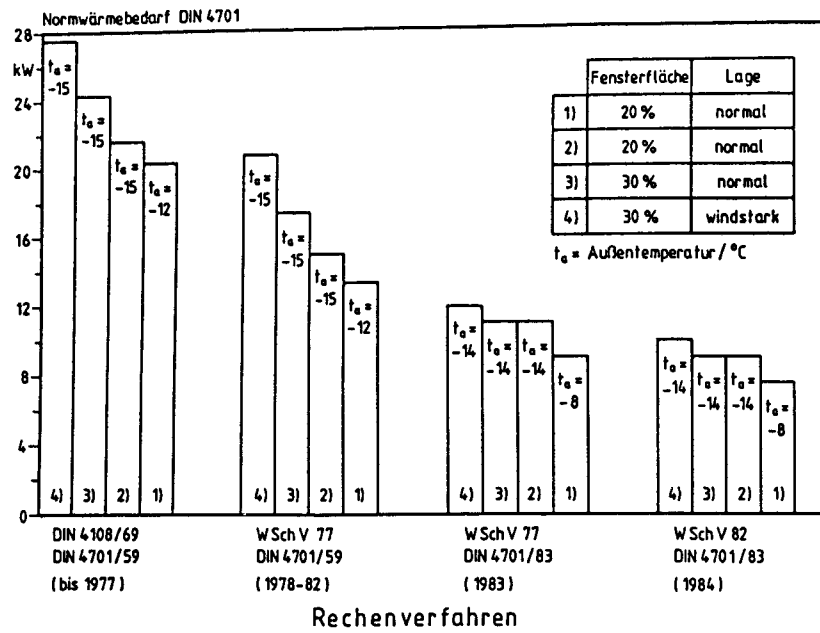


Bild 3.20: Einfluß der Lüftungswärmeverluste bei unterschiedlichen methodischen Anforderungen für ein Satteldachhaus (140 m<sup>2</sup>)

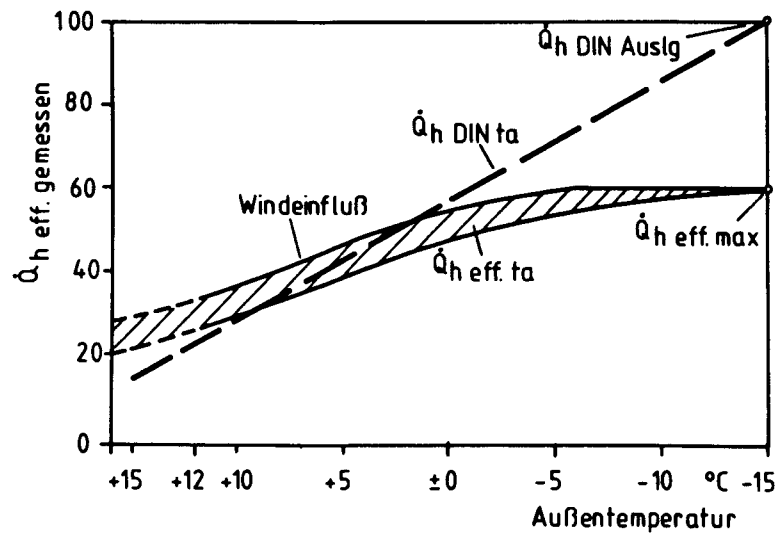


Bild 3.21: Theoretischer ( $\dot{Q}_{hDIN}$ ) und effektiver ( $\dot{Q}_{heff}$ ) Wärmeleistungsbedarf in Abhängigkeit der Außentemperatur /3.70/

Die Einflüsse des Windes werden durch die DIN 4701/83 wesentlich reduziert. Nimmt man wiederum zunächst die Situation 2), so ergibt sich

$$\dot{Q}_L / \dot{Q}_T = 1.05/10 \sim 0,10$$

Infolge des erhöhten Windeinflusses ergibt sich in Situation 4)

$$\dot{Q}_L / \dot{Q}_T = 2.05/10 \sim 0,20$$

Die Lüftungswärmeverluste haben sich zwar fast verdoppelt, aber ihr Anteil am Verhältnis  $\dot{Q}_L / \dot{Q}_T$  bleibt gegenüber den alten Regelungen zurück. Zwischenzeitlich hatte der Lüftungswärmeanteil sogar noch erheblich zugenommen, so ergab sich für 1978 - 1982 für die Situation 2)

$$\dot{Q}_L / \dot{Q}_T = 4.3/10.7 \sim 0,4$$

und für die Situation 4)

$$\dot{Q}_L / \dot{Q}_T = 10.1/10.7 \sim 0,95$$

Wenn auch plausiblerweise der Lüftungswärmebedarf bei verbessertem Wärmeschutz steigen muß, so war der Einfluß auf den Gebäudewärmebedarf offensichtlich in der DIN 4701/59 überhöht in Ansatz gebracht worden. Die Praxis muß hingegen zeigen, ob die heute enorm verringerten Lüftungsverluste der Realität und den Anforderungen an ein hygienisches Raumklima entsprechen.

Häufiger Kritikpunkt an dem Verfahren der DIN 4701 waren die systembedingten Reserven des Verfahrens, die zu überhöhtem Wärmebedarf und somit zur schlechten Anpassung der überdimensionierten Anlage an die tatsächlichen Verhältnisse führten (3.39-3.40). Aus Belastungsmessungen an Fernwärmenetzen ist bekannt, daß tatsächliche Höchstlast-Leistungsbedarf nur etwa 60 % des Auslegungsbedarfs (nach DIN 4701/59) beträgt (s. Bild 3.21).

Der Ansatz führt bei geringer Belastung (Minustemperaturen) bis etwa  $0^{\circ}\text{C}$  weiterhin zur Überdimensionierung, während es im Plus Temperaturbereich gute Übereinstimmung zwischen theoretischem Ansatz und gemessener Leistung gibt. Die Ergebnisse in Tab. 3.6 bestätigen diese systembedingten Reserven. Vergleicht man z. B. für ein Satteldachhaus (nach WSchV 77) die Wärmebedarfswerte für die Klimazone 1, so ergibt sich durch die Anwendung der DIN 4701/83 eine Einsparung von 34 % gegenüber der Fassung von 1959. Für die Heizungstechnik hat dies zwei Vorteile:

- a) Für Systeme, deren Kosten stark mit der Heizleistung variieren, ergibt sich geringerer Investitionsaufwand (Nachstromspeicheröfen).
- b) Eine bessere Anpassung an den effektiven Wärmebedarf führt zu besserer Energieausnutzung.

### 3.11 Anwendung vereinfachter Methoden in der Praxis

Vereinfachte Methoden werden in der Praxis aus zwei Gründen eingesetzt /3.58/:

- a) zur schnellen Abgabe von Angeboten,
- b) weil der Rechenaufwand nach DIN 4701 als zu hoch erachtet wird, kommen Hilfsmittel bzw. Schätzmethoden zum Einsatz.

Zur Schätzung des Wärmeleistungsbedarfs kommen zur Anwendung:

- a) spezifische Bedarfswerte ( $\text{W/m}^3$  bzw.  $\text{W/m}^2$ ) zur Schätzung des Leistungsbedarfs von Räumen oder Gebäuden /3.13/ (s. Bild 3.22),
- b) Näherungsformeln, z. B. nach DIN 4108/1975 - Beiblatt /3.71/:

$$\dot{Q}_{\text{ges}} = \left( k_m \cdot \frac{A}{V} + 0,20 \right) \cdot V \cdot ( \vartheta_i - \vartheta_a ) \quad \text{Gl. 3.29}$$

$k_m$  = mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient des Gebäudes

$A$  = Hüllfläche

$V$  = Hüllvolumen

$\vartheta_i$  = Norminnentemperatur

$\vartheta_a$  = Normaußentemperatur

c) Spezialrechenschieber bzw. -rechenscheiben /3.56, 3.57/.

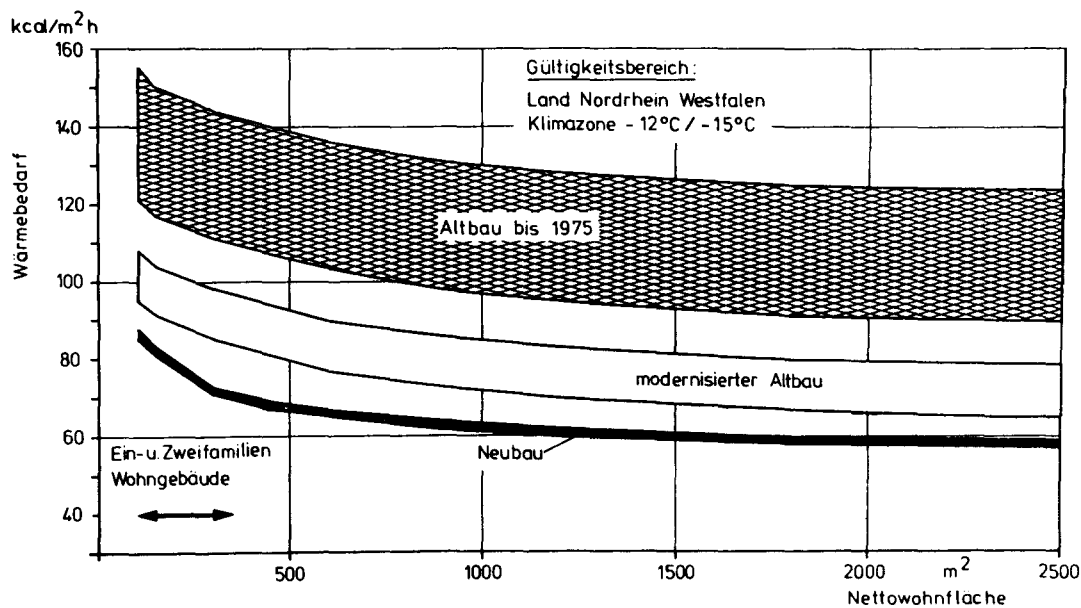


Bild 3.22: Spezifischer Wärmeleistungsbedarf /3.53/

Tab. 3.7 zeigt die Gegenüberstellung der Wärmebedarfswerte für Schätzverfahren und nach DIN 4701 für ein Satteldachhaus mit einer Nettowohnfläche von  $140 \text{ m}^2$  (normale Lage, windschwach). Der Vergleich zeigt nur äußerst geringe Abweichungen bei nor-



maler Lage und windschwachen Gebieten. Mit zunehmendem Windeinfluß werden die Abweichungen größer, da die Berechnungsbasis der Schätzverfahren als unverändert angesehen werden kann. Auch mit Spezialrechenschiebern bzw. -rechenscheiben lagen die Abweichungen zwischen Schätzverfahren und der DIN 4701/59 im Bereich von 10 % /3.57/. Es ist daher nicht auf Schätzverfahren zurückzuführen, daß in der Praxis zwischen installierter Heizleistung und theoretischem Wärmebedarf Überdimensionierungen um den Faktor 2 - 3 bei kleinen Heizleistungen festgestellt werden konnten /3.59/.

	Schätz- verfahren kW	DIN 4701/59 kW	Abweichung %
Wärmeschutz	DIN 4108/69	DIN 4108/69	
Außentemperatur	-15 °C	-15 °C	
Schätzung nach			
Gl. 3.29	21,3	21,7	- 2
Bild 3.20	(170 W/m <sup>2</sup> ) 23,8	21,7	+ 10

Tab. 3.7: Gegenüberstellung der Wärmebedarfsermittlung nach DIN 4701/59 und nach Schätzverfahren für ein Satteldachhaus (140 m<sup>2</sup> Nettowohnfläche)

Da die Rechnung nach VDI 2067 von einer knappen Auslegung der Heizungsanlage ausgeht, können die Überdimensionierungen nicht als Basis der detaillierten Rechnung dienen. Es muß daher angenommen werden, daß in Fällen extremer Überdimensionierung der Heizanlagen häufig keine Wirtschaftlichkeitsrechnungen vorgenommen wurden. Wahrscheinlicher ist, daß man sich nach bekannten Heizkostenvergleichen richtete, nur Preise berücksichtigte oder aber nach Empfehlungen entschied.

- /3.1/ DIN 4701 (1983, T. 1),  
Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von  
Gebäuden, Teil 1, Ausgabe März 1983,  
Berlin/Köln, 1983, S. 6 u. 8
- /3.2/ H. Esdorn, G. Wentzlaff,  
Zur Berücksichtigung der Sonnenein-  
strahlung bei der Berechnung des Jahres-  
wärmeverbrauchs,  
HLH 32 (1981), Nr. 9, S. 358
- /3.3/ H. Esdorn, W. Brinkmann,  
Der Lüftungswärmebedarf von Gebäuden  
unter Wind- und Auftriebseinflüssen,  
Gesundheitsingenieur 99 (1978),  
Nr. 4, S. 81
- /3.4/ DIN 4701, (1983, T. 2),  
Regeln für die Berechnung des Wärme-  
bedarfs von Gebäuden, Teil 2,  
Berlin/Köln, 1983, S. 17
- /3.5/ H. Feustel,  
Neufassung der DIN 4701  
"Regeln für die Berechnung des Wärme-  
bedarfs von Gebäuden",  
HLH 33 (1982), Nr. 9, S. 330
- /3.6/ DIN 4701,  
Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs  
von Gebäuden, Entwurf 1978,  
Berlin/Köln, 1983, S. 26
- /3.7/ P. Schmidt,  
Ergebnisunterschiede der Wärmebedarfs-  
rechnung durch die Neuausgabe der DIN 4701,  
Gesundheitsingenieur 103 (1982), H. 5, S. 222
- /3.8/ H. Kollmann,  
Determinanten des Heizwärmebedarfs  
von Gebäuden,  
KFA Jülich GmbH, Jül-Spez-234, Bd. 1,  
Jülich, 1983
- /3.9/ M. Plewnia,  
Einsatz von elektrischer Energie im Raum-  
wärmemarkt der Haushalte zur Substitution  
von Öl,  
KFA Jülich GmbH, KFA-STE-IB-3182,  
Jülich, 1982
- /3.10/ F. Bukau,  
Wärmepumpensysteme und ihr Einsatz,  
Haustechnische Rundschau, 1983, S. 287

- /3.11/ F. Richarts, K. Michler,  
Wärmepumpenanlagen für die Raum-  
heizung,  
Düsseldorf 1982, S. 13
- /3.12/ Hauptberatungsstelle für  
Elektrizitätsanwendung e. V.,  
Kostenrechnung Wärmepumpe,  
Heidelberg, 1980, S. 5
- /3.13/ Bundesminister für Raumordnung,  
Bauwesen und Städtebau,  
Praxisinformation Energie-  
einsparung,  
Bonn, 1983, S. 11
- /3.14/ Bundesminister für Raumordnung,  
Bauwesen und Städtebau,  
a.a.O., S. 12
- /3.15/ Bundesminister für Raumordnung,  
Bauwesen und Städtebau,  
a.a.O., S. 12
- /3.16/ H. Kollmann,  
Determinanten,  
a.a.O., S. 24
- /3.17/ DIN 4108,  
Wärmeschutz im Hochbau,  
Beiblatt,  
Berlin, Köln, 1975, S. 1
- /3.18/ H. Hebgen,  
Neuer baulicher Wärmeschutz,  
Braunschweig, 1978, S. 10
- /3.19/ K. Gertis,  
Heizenergieeinsparung durch  
bauliche Maßnahmen,  
Gesundheitsingenieur 96 (1975),  
Nr. 3, S. 70 - 79
- /3.20/ J. Steinert,  
Die neue Wärmeschutzverordnung und  
ihre bautechnischen Probleme,  
Gas - Internationale Zeitschrift für  
rationelle Energieverwendung,  
1985, H. 1, S. 20
- /3.21/ H. Kollmann,  
Determinanten,  
a.a.O., S. 102
- /3.22/ DIN 4108,  
"Wärmeschutz im Hochbau",  
Teil 5, Berechnungsverfahren,  
Berlin, 1981

- /3.23/ M. Lüchow,  
Wärmeschutz bei Gebäuden wird neu gefaßt,  
Elektrowärme international,  
40 (1982), S. A 21
- /3.24/ H. Kollmann,  
Determinanten,  
a.a.O., S. 36 ff
- /3.25/ Rheinisch-Westf. Elektrizitätswerk,  
RWE-Bauhandbuch 1983/84,  
Heidelberg, o. Datum, S. 24
- /3.26/ Rheinisch-Westf. Elektrizitätswerk,  
a.a.O., S. 76
- /3.27/ L. Rouvel,  
Raumkonditionierung,  
Berlin, New York, Heidelberg, 1978, S. 45
- /3.28/ H. Kollmann,  
Determinanten,  
a.a.O., S. 39
- /3.29/ DIN 4108, Teil 2,  
Wärmeschutz im Hochbau,  
Teil 2,  
Berlin 1981, S. 3 und S. 6
- /3.30/ DIN 4701 (1983, T. 1),  
Regeln,  
a.a.O., S. 5
- /3.31/ H. Esdorn, G. Wentzlaff,  
Neuvorschläge zum Entwurf DIN 4701  
"Regeln für die Berechnung des Wärme-  
bedarfs von Gebäuden",  
HLH 32 (1981), Nr. 10, S. 394
- /3.32/ G. Hauser,  
Berücksichtigung der Wärmespeicher-  
fähigkeit in DIN 4701,  
HLH 34 (1983), Nr. 9, S. 379
- /3.33/ DIN 4108,  
Wärmeschutz im Hochbau,  
Teil 4,  
Berlin, 1981, S. 19
- /3.34/ H. Trümper,  
Schallschutzfenster und Wohnungs-  
lüftung,  
Bauphysik 2/1979, S. 53 - 61
- /3.35/ W. Krüger, G. Hausladen,  
Zum Problem der Wohnungslüftung,  
HLH 30 (1979), Nr. 11, S. 425 - 432

- /3.36/ G. Hauser,  
Einfluß der Lüftungsform auf  
die Lüftungsverluste von Gebäuden,  
HLH 30 (1979), Nr. 7, S. 263 -266
- /3.37/ L. Rouvel,  
Einfluß von Nutzungsgewohnheiten  
und Abrechnungsart auf den Heizungs-  
energieverbrauch,  
FfE-Schriftenreihe, Bd. 15,  
Berlin, Heidelberg, New York, 1982,  
S. 109 - 120
- /3.38/ DIN 4701 (1959),  
Regeln für die Berechnung des Wärme-  
bedarfs von Gebäuden,  
Berlin, 1959, S. 17
- /3.39/ P. Schmidt,  
Neuvorschläge zum Entwurf DIN 4701  
"Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs  
von Gebäuden",  
HLH 32 (1981), Nr. 12., S. 472
- /3.40/ DIN 4701 (1959),  
Wärmebedarf,  
a.a.O., S. 5
- /3.41/ H. Esdorn, P. Schmidt,  
Neuvorschläge zum Entwurf  
DIN 4701 "Regeln für die Berechnung  
des Wärmebedarfs von Gebäuden",  
HLH (1981), Nr. 11, S. 427
- /3.42/ E. Jacobi,  
DIN 4701 und DIN 4108 -  
Kritische Hinweise zur Neubearbeitung  
und Zusammenhang mit VDI 2067,  
Wärme-, Klima- und Sanitärtechnik,  
1973, S. 186
- /3.43/ DIN 4108 (Teil 2),  
Wärmeschutz,  
a.a.O., S. 9
- /3.44/ K. Gertis,  
Solarenergienutzung mit passiven  
statt aktiven Mitteln,  
HLH 33 (1982), Nr. 5, S. 169 - 173
- /3.45/ DIN 4701, (1983, Teil 1),  
a.a.O., S. 6
- /3.46/ Rheinisch-Westf. Elektrizitätswerk,  
RWE-Bauhandbuch,  
a.a.O., S. 146

- /3.47/ Recknagel-Sprenger,  
Taschenbuch für Heizung und Klima-  
technik,  
München, Wien, 1979, S. 32
- /3.48/ H. Kollmann,  
Determinanten,  
a.a.O., S. 23
- /3.49/ Recknagel-Sprenger,  
a.a.O., S. 24
- /3.50/ H. Esdorn,  
DIN 4701 "Regeln für die Berechnung  
des Wärmebedarfs von Gebäuden" -  
Grundzüge des Neuentwurfs,  
Gesundheitsingenieur 99 (1978),  
H. 6, S. 193
- /3.51/ H. Kollmann,  
Determinanten,  
a.a.O., S. 15
- /3.52/ F. Kasten et al.,  
Die räumliche und zeitliche Verteilung  
der diffusen Himmelsstrahlung in der  
Bundesrepublik Deutschland,  
in Statusbericht Sonnenergie, Bd. II,  
Bonn, 1980, S. 1631 ff
- /3.53/ K. Düring,  
Stromversorgung einkerniger Verdichtungsräume,  
KFA Jülich GmbH, Interner Bericht,  
Jülich, o. Datum, S. 20
- /3.54/ M. Plewnia,  
Einsatz, a.a.O., S. 38
- /3.55/ H. Esdorn, P. Brendel,  
Zur Heizflächenauslegung bei einge-  
schränkter Beheizung der Nachbarräume,  
HLH 33 (1982), Nr. 12, S. 417
- /3.56/ O. Müller, E. Gerber,  
Die Wärmebedarfsberechnung im Spiegel  
ihrer Hilfsgeräte,  
Haustechn. Rundschau 1967, H. 6, S. 179
- /3.57/ E. Gerber,  
Wärmebedarfsrechnung neu?  
HLH 21 1970), Nr. 9, S. 326
- /3.58/ C. Ihle,  
Wie schätzt man den Wärmebedarf von Ein-  
und Zweifamilienhäusern?  
Öl- und Gasfeuerung, 1968, S. 298

- /3.59/ Bundesminister für Raumordnung,  
Bauwesen und Städtebau,  
Ermittlung von Jahresnutzungsgraden  
an 100 Öl- und gasgefeuerten Zentralhei-  
zungsanlagen 1980/81,  
Bericht Nr. F 1844,  
Bonn, 1980, S. 29
- /3.60/ DIN 4108 (1969),  
Wärmeschutz im Hochbau,  
Berlin, 1969, S. 8
- /3.61/ Bundesministerium für Wirtschaft,  
Wärmeschutz bei Gebäuden (Broschüre),  
Bonn, 1983
- /3.62/ Rheinisch-Westf. Elektrizitätswerk,  
Bericht über die Haushaltskundenbe-  
fragung 1981,  
Essen, 1982, S. 13 ff
- /3.63/ Stat. Bundesamt,  
Fachserie 5, Reihe 1,  
Bautätigkeit,  
Wiesbaden, Ausgabe 1978, S. 7
- /3.64/ Stat. Bundesamt,  
Stat. Jahrbuch der Bundesrepublik  
Deutschland, Wiesbaden,  
Ausgabe 1979, S. 200  
" 1980, S. 203  
" 1981, S. 210  
" 1982, S. 214  
" 1983, S. 214
- /3.65/ H. Kollmann, M. Plewnia,  
Kosten für Energieeinsparung durch  
Wärmedämmung von Gebäuden und heizungs-  
technischen Maßnahmen,  
KFA-Jülich GmbH,  
Jül-Spez-234, Bd. 2,  
Jülich, 1983, S. 5
- /3.66/ H. Kollmann,  
Determinanten,  
a.a.O., S. 1
- /3.67/ Recknagel-Sprenger,  
Taschenbuch, a.a.O., S. 31/33
- /3.68/ H. Kollmann,  
Determinanten, a.a.O., S. 15
- /3.69/ Fördergesellschaft Technischer Ausbau e. V.,  
Wärmepumpen zur Hausheizung, Bd. 2,  
Bonn, o. Datum, S. 5

- /3.70/ E. Stempel,  
Fragen der Heizkraftwirtschaft und  
Stadtheizung,  
Energie, 22 (1970), Nr. 5
- /3.71/ DIN 4108,  
Wärmeschutz im Hochbau,  
Ausgabe 1975, Beiblatt,  
Berlin/Köln, S. 12



#### 4. Heizungstechnische Konzepte und Energieverbrauch

Nach Bestimmung der Auslegungsleistung für Raumheizflächen und Wärmeerzeuger besteht der nächste Schritt im Planungsprozeß in der Festlegung des heizungstechnischen Konzeptes und in der Vorausschätzung der Energieverbräuche.

Die Analyse heizungstechnischer Konzepte zeigt zum einen das Spektrum des technischen Aufwandes auf, zum anderen wird durch die Effizienz der Energieumsetzung die Bandbreite der Energieverbräuche beschrieben.

Die Vorausschätzung der Energieverbräuche im Planungsprozeß ist notwendig, um bei Lagerhaltung im Haus die Lagerkapazität zu bestimmen. Diese wiederum legt die zu erwartenden Kosten für Lagerbehälter bzw. Raumbedarf fest. Darüber hinaus werden die Energieverbräuche für Kostenvergleichsrechnungen bei der Brennstoffwahl benötigt.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich zunächst auf die Analyse heizungstechnischer Konzepte und ihrer Determinanten. Im Anschluß daran erfolgt die Darstellung der praxisorientierten, methodischen Vorgehensweise zur Ermittlung der Energieverbräuche, ehe auf möglichst repräsentativer Basis Energieverbräuche für die drei Standard-Haustypen vorausberechnet werden.

##### 4.1 Heizungstechnische Konzepte

Neubauten werden seit 1970 zu etwa 90 % mit Zentralheizungsanlagen ausgerüstet (s. Bild 4.1). Der verbleibende Rest wird zum größten Teil mit elektrischen Einzelöfen beheizt, zum geringeren Teil auch mit Öl- und Gaseinzelheizungen /4.12 - 4.15/.

Bei den Zentralheizungen handelt es sich weitgehend um Warmwasser-Zentralheizungen. Zentralheizungen mit Luft als Heizmedium spielen nur eine untergeordnete Rolle. Im Rahmen dieser Arbeit sind daher zwei grundsätzliche Arten der Raumwärmeversorgung zu unterscheiden:

- 1) Warmwasser-Zentralheizung
- 2) Elektrische Einzelöfen

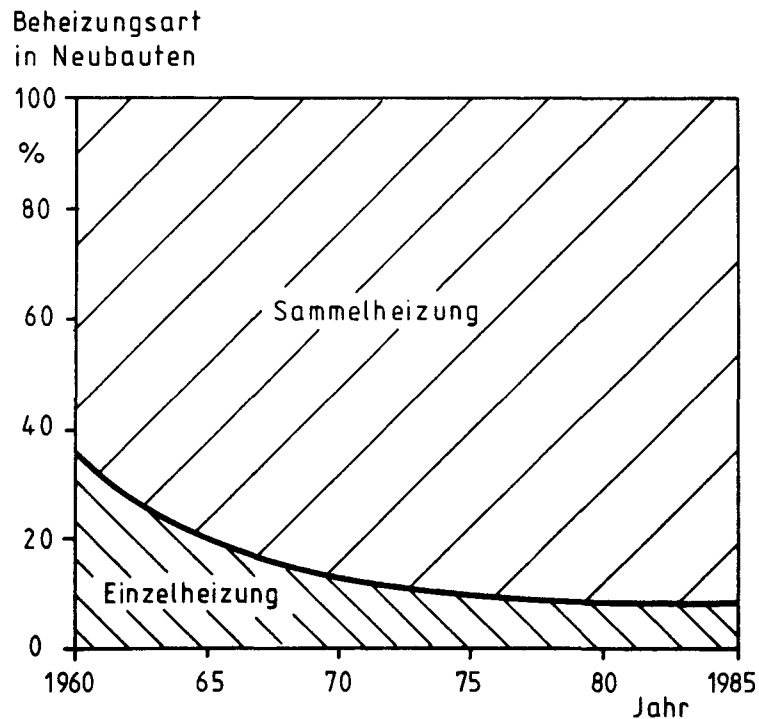


Bild 4.1: Entwicklung der Beheizungsstruktur nach Einzel- und Sammelheizung in Neubauwohnungen (Ein- u. Mehrfamilienhäuser - Bundesrepublik Deutschland) /4.12-4.15/

#### 4.1.1 Qualitative Bewertung

Im Bild 4.2 sind die wichtigsten Teilsysteme der Raumwärmebereitstellung in ihren Wechselwirkungen dargestellt. Während Witterung, Gebäude und Nutzer den Wärmebedarf charakterisieren, wird die heizungstechnische Seite durch Wärmeerzeuger, Wärme-

verteilung und Regelung dargestellt. Die qualitative Bewertung des Zusammenspiels dieser Größen kann nach unterschiedlichen Anforderungen beurteilt werden:

- a) höchstem Nutzungskomfort
- b) geringsten Kosten
- c) minimalem Energieeinsatz
- d) Schadstoffminimierung

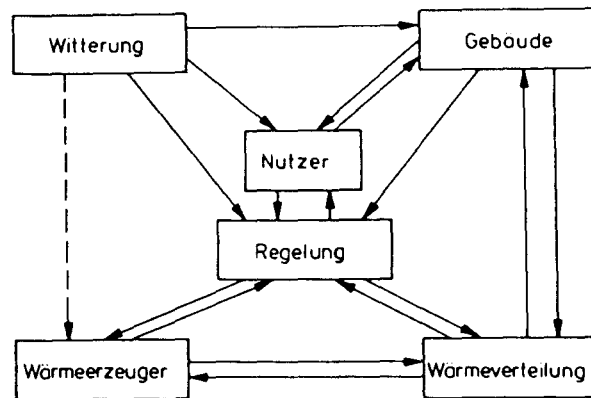


Bild 4.2: Teilsysteme der Raumwärmebereitstellung in ihren Wechselwirkungen /4.7/

Trotz erster Ansätze, alle Teilsysteme aus Bild 4.1 in die qualitative Bewertung einzubeziehen, gibt es bisher kein allgemeingültiges Konzept /4.1 - 4.5/.

In der Praxis wird die qualitative Bewertung nach wie vor durch die Einbeziehung der heizungstechnischen Elemente vorgenommen, vorrangig wird das Untersuchungsspektrum auf den Wärmeerzeuger begrenzt.

Auch von der heizungstechnischen Seite gibt es keine einheitliche Terminologie. Dies hängt zum einen mit der heiztechnischen Bewertung der Einsatzenergie zusammen, zum anderen mit der kombinierten Nutzung niederwertiger (nichtkommerzieller) Umweltenergien mit hochwertigen Antriebsenergien in Wärmepumpen.

#### 4.1.1.1 Leistungsbezogene Kenngrößen

##### a) Wirkungsgrad

Der Wirkungsgrad einer Anlage ist definiert als das Verhältnis von abgegebener Leistung ( $P_{ab}$ ) zu der zugeführten Leistung ( $P_{zu}$ )

$$\eta_W = P_{ab} / P_{zu}$$

Gl. 4.1

Bei einer verlustlos arbeitenden Maschine ergäbe sich ein Wirkungsgrad von 1. Da bei allen technischen Prozessen jedoch Verluste anfallen, ist  $\eta_W$  stets kleiner als 1.

Die Höhe des Wirkungsgrades hängt wesentlich davon ab, ob der Prozeß energetisch oder exergetisch bewertet wird. Bei energetischer Bewertung wird lediglich nach der Quantität gefragt, während bei exergetischer Betrachtung die Qualität der Energie beurteilt wird, d. h. ob die Arbeitsfähigkeit des Energieträgers im thermodynamischen Sinne bestmöglich umgesetzt wird /4.139-4.140/.

In der Heizungstechnik findet bisher nur der energetische Wirkungsgrad Anwendung. Er wird auf Prüfständen unter genau definierten Bedingungen gemessen. Das Erreichen bestimmter Anforderungen ist ein anerkanntes Gütemerkmal /4.36/. Dabei wird die zugeführte Leistung auf den Heizwert des eingesetzten Energieträgers bezogen. Der Heizwert z. B. eines Gases ist die Wärme, die bei vollständiger Verbrennung unter Normbedingungen frei wird, das gleichzeitig bei der Verbrennung entstehende Wasser liegt dampfförmig vor.

Der Bezug auf den Heizwert führt zu Problemen, wenn Anlagen eingesetzt werden, die den Brennwert z. B. eines Gases nützen können. Im Gegensatz zur Heizwertberechnung liegt das bei der Verbrennung freiwerdende Wasser flüssig vor. Bei der Kondensation des Wasserdampfes, z. B. an kalten Nachschaltheizflächen, wird Kondensationswärme frei. Bezieht man nunmehr die nutzbar gemachte Leistung auf die heizwertbezogene zugeführte Leistung, so erhält man Wirkungsgrade größer 1. Diese physikalisch falsche Aussage wird ermöglicht durch eine ungenaue Definition des Wirkungsgrades. Ein grundsätzlicher Bezug auf den Brennwert würde für einheitliche Verhältnisse sorgen /4.6/.

b) Leistungszahl

Dem Wirkungsgrad konventioneller Heizungsanlagen entspricht die Leistungszahl  $\epsilon$  für elektromotorisch angetriebene Kompressions-Wärmepumpen (Funktionsweise, siehe Kap. 4.1.2.3). Sie ist definiert als das Verhältnis der nutzbar abgegebenen Leistung des Kondensators ( $P_{ab}$ ) und der über den Verdichter eingesetzten Antriebsleistung  $P_{zu}$ ):

$$\epsilon = P_{ab} / P_{zu} \quad \text{Gl. 4.2}$$

Da die kostenlos aus der Umgebung gewonnene Wärme nicht bilanziert wird, ist die Leistungszahl größer 1.

4.1.1.2 Arbeitsbezogene Kenngrößen

a) Nutzungsgrad

Mit dem Nutzungsgrad wird das Verhältnis der abgegebenen ( $W_{ab}$ ) und zugeführten Energie ( $W_{zu}$ ) einer Anlage über einen Zeitraum ermittelt:

$$\eta_N = W_{ab} / W_{zu} \quad \text{Gl. 4.3}$$

Der Nutzungsgrad mittelt über instationäre Betriebszustände wie Anfahren, Lastwechsel, Leerlauf, Abfahren und Stillstände. Für die energiewirtschaftliche Beurteilung einer Anlage ist daher nicht der Wirkungsgrad, sondern der Nutzungsgrad die maßgebliche Kenngröße.

b) Arbeitszahl

Während sich der Nutzungsgrad als durchschnittlicher Jahresbetriebswirkungsgrad auf konventionelle Anlagen bezieht, wird bei Wärmepumpen die entsprechende Kenngröße mit Arbeitszahl bezeichnet.

$$\beta = W_{ab} / W_{zu} \quad \text{Gl. 4.4}$$

Bei der Bewertung von Kenngrößen ist auf die jeweilige Systemgrenze der betrachteten Anlagenkonfiguration zu achten. Sie läßt sich um den Wärmeerzeuger selbst ziehen, kann aber erweitert werden um Hilfsaggregate und die Effizienz der Weiterleitung der umgewandelten Energie.

Für einzelwirtschaftliche Betrachtungen wird die Systemgrenze um die Gesamtanlage am Ort des Verbrauchers gezogen, volkswirtschaftlich ist die Einbeziehung aller Umwandlungsstufen bis hin zur Primärenergie von Bedeutung. Kennzeichnend für die Nutzung der Primärenergie im Gesamtsystem ist das Verhältnis aus Wärmeverbrauch und eingesetzter Primärenergie, d. h. die Heizzahl /4.140/.

#### 4.1.2 Warmwasser-Zentralheizung

##### 4.1.2.1 Schematischer Aufbau

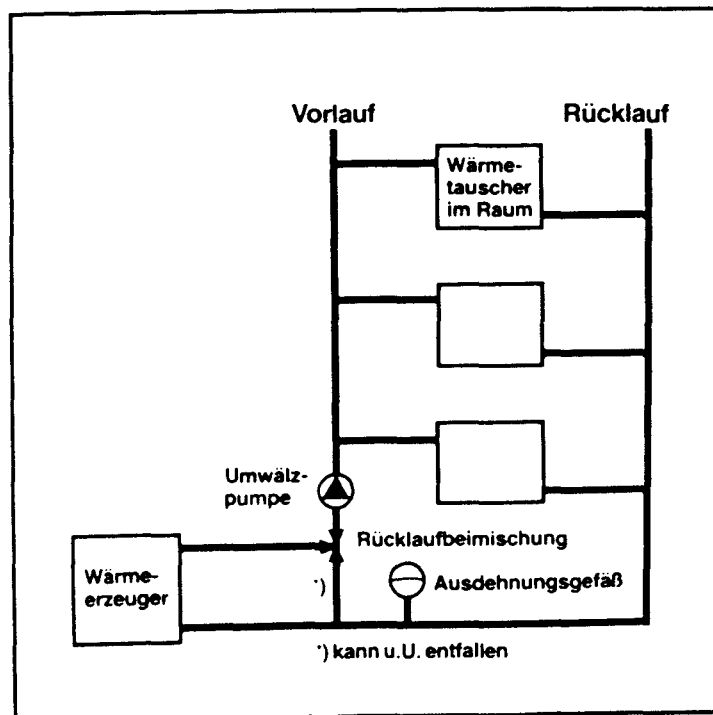


Bild 4.3: Schematischer Aufbau einer Warmwasser-Zentralheizung

Bild 4.3 zeigt den Heizkreis einer Warmwasser-Zentralheizungsanlage mit seinen Komponenten. Er besteht aus einem zentral angeordneten Wärmeerzeuger, zumeist im Keller aufgestellt, der

Umwälzpumpe, dem Verteilernetz und den Wärmeverbrauchern. Das im Wärmeerzeuger aufgeheizte Wasser wird durch die Umwälzpumpe dem Verteilernetz zugeführt, wo es über wärmetauschende Heizflächen seine Wärme im Raum abgibt.

Die im hier betrachteten Zeitraum installierten Anlagen sind als geschlossene Anlagen ausgeführt, daher werden Druckveränderungen im System infolge Erwärmung und Ausdehnung des Wassers durch ein Druckausgleichssystem aufgefangen /4.11/.

#### 4.1.2.2 Wärmeerzeuger

Es gibt eine Vielzahl von Kriterien, um Wärmeerzeuger zu klassifizieren /4.16/, das hier gewählte Merkmal bezieht sich auf die maximale Betriebstemperatur des Heizwassers im Wärmeerzeuger. Bis etwa 1980 war die maximale Betriebs- bzw. Auslegungstemperatur konventioneller Öl-, Gas- oder Kohlekessel etwa 90 °C.

Einer der Gründe für diese Obergrenze war, daß bis 90 °C Auslegungstemperatur mit Sicherheit Dampfbildung im Heizkessel vermieden wurde, dies war bei den etwa bis 1968 eingesetzten offenen Ausdehnungsgefäßen unbedingt notwendig /4.10, 4.11/.

Mit den geschlossenen Anlagen nach 1968 entfiel diese Anforderung, die Auslegungstemperatur wurde jedoch beibehalten, wenn auch erste Ansätze einer Veränderung nach oben (in fernwärmegepeisten Wohnungen) bzw. nach unten (physiologische Anforderungen fußbodenbeheizter Wohnflächen) erkennbar wurden /4.17 - 4.18/.

Nach der ersten Ölkrise wurden die Entwicklungsarbeiten an konventionellen Wärmeerzeugern forciert und führten zur Marktreife sogenannter Niedertemperaturkessel (etwa 1977). Mit der Heizanlagen-Verordnung von 1982 wurde der in der Praxis geprägte, un-

definierte Begriff erstmals fixiert (§ 2, Absatz 5) /4.19/:

Niedertemperaturwärmeerzeuger (NT-Kessel) sind Wärmeerzeuger, die so ausgestattet oder beschaffen sind, daß die Temperatur des Wärmeträgers im Wärmeerzeuger in Abhängigkeit von der Außentemperatur oder einer anderen geeigneten Führungsgröße sowie der Zeit durch selbsttätig wirkende Einrichtungen zwischen höchstens  $75^{\circ}\text{C}$  und  $40^{\circ}\text{C}$  oder tiefer gleitet bzw. die auf nicht mehr als  $55^{\circ}\text{C}$  eingestellt sind.

Die Definition von Wärmeerzeugern im "Niedertemperaturbereich" ist somit gegeben, offen bleibt nur, wie die darüber liegenden Wärmeerzeuger zu bezeichnen sind. Der Einfachheit halber wird im folgenden die Bezeichnung "Hochtemperatur" benutzt, wenn von Auslegungstemperaturen von  $90^{\circ}\text{C}$  in Wärmeerzeugern und Heizflächen gesprochen wird /4.32/. Niedertemperatur-Wärmeerzeuger lassen sich zwei Prinzipien zuordnen, nämlich konventioneller Niedertemperaturtechnik sowie der Wärmepumpen-Niedertemperaturtechnik.

Konventionelle Wärmeerzeuger und Wärmepumpen werden im folgenden durch eine prinzipielle Betrachtung der Funktion und der Komponenten beschrieben.

#### 4.1.2.2.1 Konventionelle Wärmeerzeuger

##### 4.1.2.2.1.1 Verbrennung

Bei vollständiger Verbrennung eines Brennstoffes wird die freigesetzte Wärmemenge als Brennwert bezeichnet. Bei der Verbrennung technischer Brennstoffe fällt Wasser in Form von Wasserdampf oder Kondenswasser an. Der bisher übliche Fall ist die Freisetzung von Wasser in Form von Wasserdampf in den Abgasen. Dadurch geht dem Verbrennungsprozeß die im Wasserdampf enthaltene Verdampfungswärme verloren. In diesem Fall spricht man von der Ausnutzung des Heizwertes ( $H_u$ ) eines Brennstoffes. In Kon-



densationskesseln kann jedoch auch die Verdampfungswärme genutzt werden, diese nutzen also auch bei technischen Prozessen nahezu den Brennwert aus, deswegen werden sie auch als Brennwertkessel bezeichnet /4.20, 4.32/.

Eine vollständige Verbrennung wird erreicht, wenn die theoretisch erforderliche Verbrennungsluftmenge zugeführt wird ( $L_{\min}$ ). In der Praxis wird jedoch mit Luftüberschuß ( $L$ ) gefahren. Das Verhältnis der tatsächlich zugeführten zur theoretisch benötigten Luftmenge wird mit  $\lambda$  (Luftverhältniszahl) bezeichnet:

$$\lambda = L / L_{\min} \quad \text{Gl. 4.5}$$

Für die technische Führung des Verbrennungsprozesses spielen die Verbrennungsprodukte eine wesentliche Rolle (s. Tab. 4.1).

Verbrennungs- produkte	feste und flüssige Brennstoffe	gasförmige Brennstoffe
CO <sub>2</sub>	X	X
H <sub>2</sub> O	X	X
SO <sub>2</sub>	X	-
N <sub>2</sub>	X	X

Tab. 4.1: Verbrennungsprodukte bei Brennstoffen /4.33/

Wird der technische Verbrennungsprozeß gewollt oder nicht gewollt so geführt, daß der Wasserdampftaupunkt unterschritten wird, so wird Kondenswasser frei (s. Bild 4.4). Das gebildete Wasser kann in Verbindung mit SO<sub>2</sub> schwefelige Säure bzw. Schwefelsäure bilden. Hierdurch werden die Heizflächen des Kessels angegriffen und der Schornstein versottet. Um eine Kondensation mit ihren Begleiterscheinungen zu vermeiden, wurde die Betriebstemperatur in konventionellen Kesseln aus Sicherheitsgründen daher relativ hoch gehalten (etwa 90 °C) und auch bei Nachtabenkung wurde der Kessel mindestens auf 60 °C gehalten.

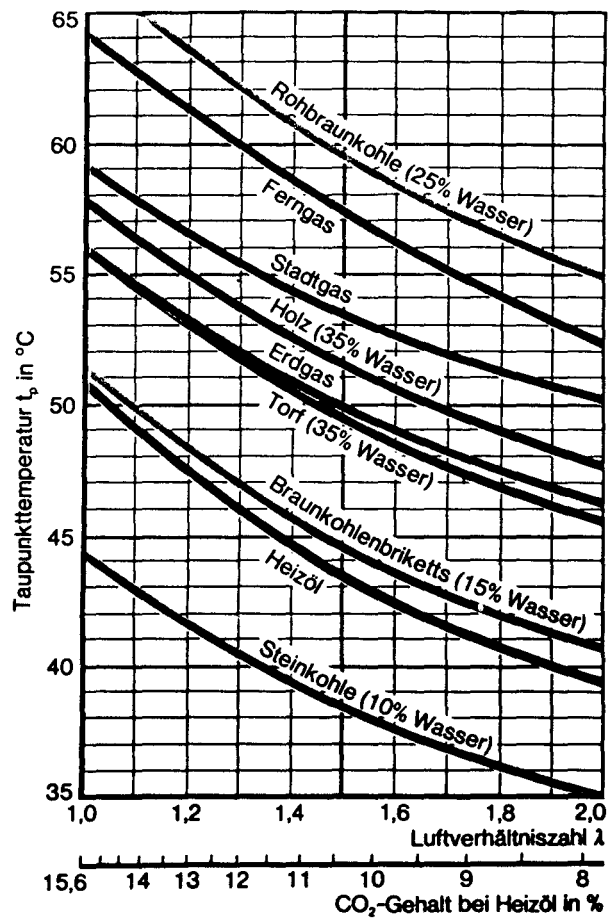


Bild 4.4: Taupunktunterschreitungen verschiedener Brennstoffe in Abhängigkeit von der Luftverhältniszahl  $\lambda$  sowie  $\text{CO}_2$ -Gehalt der Abgase bei Heizöl /4.24/

Da Abgase noch fühlbare Wärme enthalten, entstehen Abgasverluste ( $q_A$ ):

$$q_A = \frac{V_A \cdot c_{PA}}{H_u} \cdot (t_A - t_L) \quad \text{Gl. 4.6}$$

- $V_A$  = trockene Abgasmenge und Wasserdampf
- $c_{PA}$  = mittlere spezifische Wärme der Abgase
- $H_u$  = Heizwert
- $t_A$  = Abgastemperatur
- $t_L$  = Lufttemperatur

Angenähert ergibt sich für die Abgasverluste nach der Siegertschen Formel:

$$q_A = f \cdot \frac{t_A - t_L}{CO_2} \quad \text{Gl. 4.7}$$

$f$  = Beiwert

$CO_2$  = gemessener  $CO_2$ -Anteil in %

Die Güte der Verbesserung kann daher an den Abgasverlusten ermittelt werden (s. auch Bild 4.4). Von diesem Qualitätsmerkmal wird auch in der Heizungsanlagen-Verordnung (HeizAnlV) bzw. Heizungsbetriebsverordnung (HeizBetr.V) Gebrauch gemacht /4.34 - 4.35, 4.37/. Folgende Mindestwerte durften im Betrachtungszeitraum nicht überschritten werden:

Gültigkeit Heizleistung (kW)	bis 12/78	bis 12/82	ab 1/83
	Abgasverlust (%)		
größer 4 - 25	18	16	14
26 - 50	17	15	13
51 - 120	16	14	12
größer 120	15	13	11

Tab. 4.2: Zulässige Abgasverluste (Obergrenze) in öl- und gasbefeuerter Heizanlagen

Bild 4.5 gibt eine Übersicht über die am Verbrennungsprozeß beteiligten Komponenten, z. B. Brenner, Kessel und Schornstein. Entscheidend für einen effizienten Verbrennungsprozeß ist die Abstimmung aller Einheiten auf den jeweils eingesetzten Brennstoff.

#### 4.1.2.2.1.2 Betriebsweise

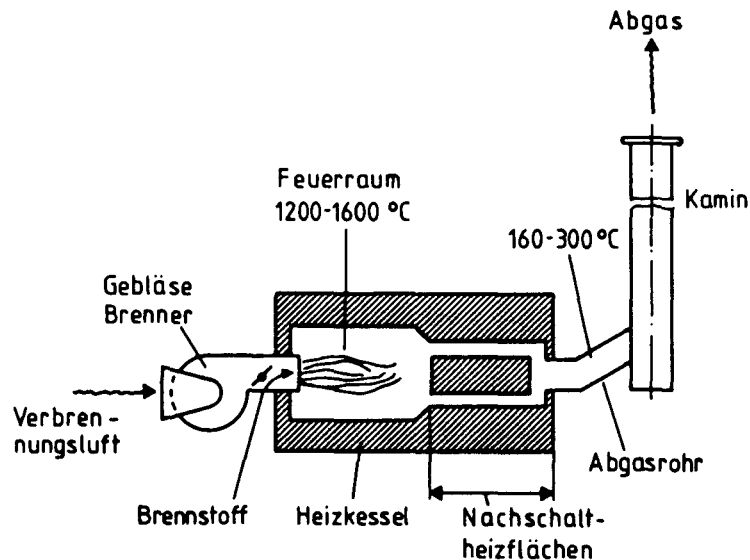


Bild 4.5: Umsetzung fossiler Brennstoffe in Zentralheizungen /4.27/

Im Brenner werden Brennstoffe und Luft möglichst unter Anstrengung einer vollkommenen Verbrennung gemischt. Für den vollständigen Ausbrand des Brennstoffes muß eine ausreichende Flammtemperatur sowie eine entsprechende Verweilzeit im Feuerraum gewährleistet sein. Als mittlere Verbrennungstemperatur stellen sich bei Öl- und Gasfeuerung etwa 1200 - 1000 °C ein. Im Feuerraum wird die durch Verbrennung freigesetzte Wärme an die Heizflächen des Kessels abgegeben. Die Wärmeabgabe kann mehrstufig durch hintereinandergeschaltete Heizflächen erfolgen, so daß die Verbrennungsenergie soweit wie möglich ausgeschöpft wird.

Die Grenzen werden durch fehlenden Auftrieb der Abgase im Schornstein bzw. durch Temperaturunterschreitung des Wasserdampfes bzw. des Schwefelsäuredampfes gesetzt /4.21 - 4.24/. Übliche Abgastemperaturen waren in der Vergangenheit etwa 160 - 300 °C.

Die bisher praktizierte Betriebsweise für Heizanlagen kleinerer Leistungen erfolgte im intermittierenden Betrieb über Ein-Aus-Schaltung des Brenners. Bei Bedarf geht der Brenner auf volle Leistung, läuft zum Bedarfsdeckungsprozeß voll durch und schaltet sich danach aus. Demnach kann man 2 Phasen der Verluste eines Heizkessels beschreiben /4.25/:

- a) beim Betrieb des Brenners
- b) während der Bereitschaft

Bei laufendem Brenner entstehen Verluste durch Abstrahlung über die Kesseloberfläche des Brenners und durch Abgasverluste.

Wenn der Kessel durch einen Thermostaten auf Betriebstemperatur gehalten wird, so weist er auch Verluste auf, wenn der Brenner nicht läuft, da ihm über die Sogwirkung des Schornsteines Wärme entzogen wird (Bereitschaftsverluste).

Gegenüber veralteten konventionellen Kesseln wurden in neuen Kesseln konstruktive, werkstofftechnische und konzeptionelle Verbesserungen vorgenommen /4.26, 4.28/:

- Verbesserung der Wärmedämmung der Abkühloberflächen des Kessels (Verringerung der Abstrahlungsverluste),
- Verringerung der Speichermasse und gleitende Absenkung der Heizkreisvorlauftemperatur durch witterungsgeführte Regelung. Geringere Speichermassen erlauben ein schnelles Anfahren des Kessels und führen durch kurze Aufheizzeit zur schnellen Überwindung kurzfristiger Taupunktunterschreitungen im Kessel. Durch gleitende Betriebstemperatur werden die Abstrahlungs- und Bereitschaftsverluste im Stillstand verringert,
- Abkühlung der Rauchgase unter den Kondensationspunkt ermöglicht teilweise oder dauernden Brennwertbetrieb,
- optimale Abstimmung von Brennerraumgeometrie und Brennercharakteristik (sogenannte Units)

Die genannten Verbesserungen gelten für Öl- und Gasfeuerung und teilweise auch für Festbrennstoffe. Darüber hinaus gibt es Entwicklungen, die speziell den Gaseinsatz betreffen. Durch stufenlos geregelte Gebläsebrenner oder mehrstufige Flammenregelung bei atmosphärischen Brennern wird die erzeugte Wärmemenge dem Wärmebedarf angepaßt. Zum weiteren betrifft es die breite Basis marktreifer Gas-Brennwertkessel /4.38 - 4.40/.

#### 4.1.2.2.2 Wärmepumpen

Wärmepumpen können je nach Konstruktionsart, Wärmequelle, Konzeption und Energieträger vielfältig kombiniert und bezeichnet werden /4.8, 4.29/. Bedeutung haben in der Praxis im Ein- und Zweifamilienhausbereich bisher nur elektromotorisch angetriebene Kompressions-Wärmepumpen erlangt. Verbrennungsmotorisch angetriebene Kompressions-Wärmepumpen werden derzeit erst bei großen Leistungseinheiten beherrscht, während Absorptionswärmepumpen in kleinem Leistungsbereich die Phase der Pilotanlagen erreicht haben /4.46/.

Die weiteren Betrachtungen beziehen sich nur auf elektromotorisch angetriebene Wärmepumpen. Genutzt werden in ihnen die Wärmequellen Luft, Erdreich und Grundwasser. Vom Wärmeangebot dieser Quellen hängt es ab, ob die Wärmebedarfsdeckung von der Wärmepumpe allein oder in Kombination mit einem Zusatzsystem erfolgt. Die Bezeichnungen der Wärmepumpen bei mehr als einem Wärmeerzeuger orientieren sich an der Zahl der verschiedenen Energieträger. Eine elektrische Wärmepumpe mit einer elektrischen Zusatzheizung wird als monovalentes System bezeichnet. Bei der in der Praxis häufig vorkommenden Kombination einer elektrischen Wärmepumpe mit einem Zusatzölkessel spricht man von einer bivalenten Anlage /4.29/. Bivalente Anlagen können z. B. teil-parallel arbeiten, d. h. die Wärmepumpe läuft unter günstigen Bedingungen zunächst allein, an kalten Tagen schaltet sich zusätzlich ein Kessel ein. Eine andere Betriebsweise ist die bivalent-alternative. Unter günstigen klimatischen Bedingungen arbeitet wiederum nur die Wärmepumpe, im Um-

schaltpunkt wird die Wärmepumpe ausgeschaltet, nunmehr arbeitet nur die Alternative (der Zusatzkessel) allein.

#### 4.1.2.2.2.1 Funktionsweise der Wärmepumpe

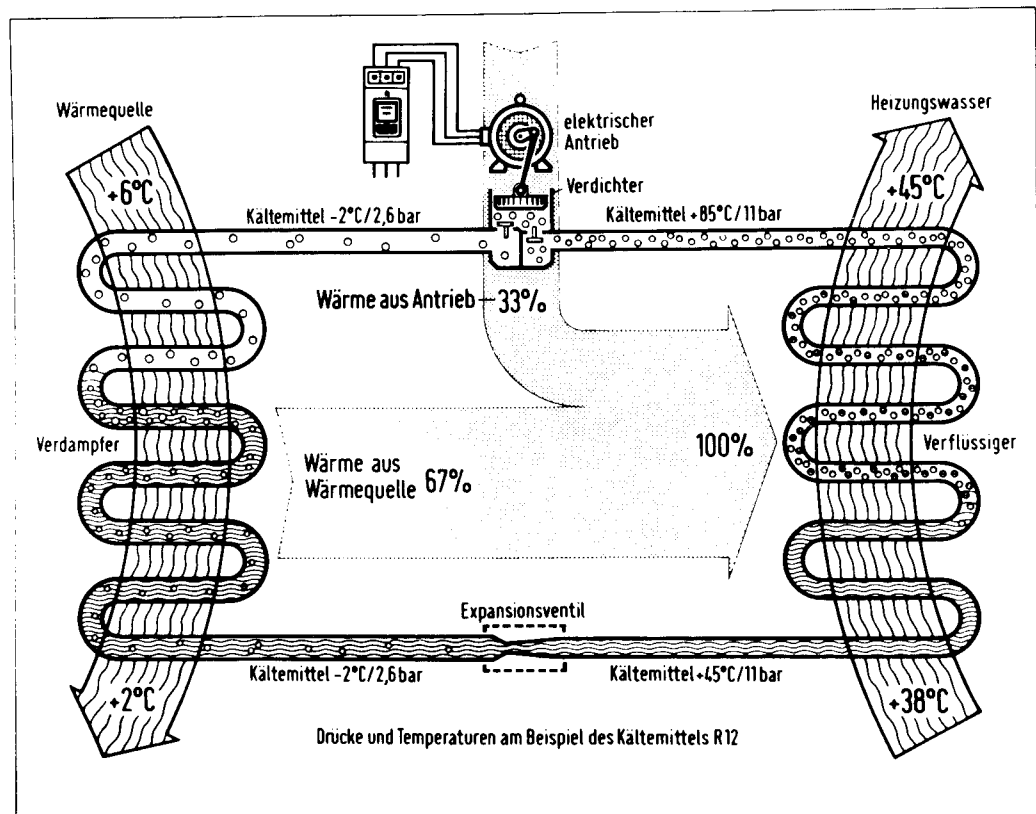


Bild 4.6: Funktionsweise der elektromotorisch angetriebenen Kompressions-Wärmepumpe /4.30/

Die Elemente und Funktionsweise einer elektromotorischen Kompressions-Wärmepumpe sind in Bild 4.6 dargestellt /4.30/.

Diese Elemente sind Verdampfer, Verdichter, Kondensator (Verflüssiger) und Expansionsventil. Sie werden im Kreislauf von einem Arbeitsmittel (hier das Kältemittel R 12) durchlaufen. Dieses Arbeitsmittel hat die Fähigkeit, bei tiefen Temperaturen zu verdampfen. Die erforderliche Verdampfungswärme wird den Wärmequellen, vorwiegend der Umwelt, entnommen. Beim Eintritt

in den Verdampfer ist die Temperatur des Arbeitsmittels geringer als die der Umweltquelle, es nimmt Wärme von ihr auf und verdampft. Dann wird es vom Verdichter aufgesaugt und unter Einsatz elektrischer Antriebsenergie mechanisch verdichtet. Dabei erwärmt es sich und gelangt unter erhöhtem Druck in den Kondensator, dessen Umgebungstemperatur durch einströmendes Heizwasser kühler ist als die Temperatur des Arbeitsmittels. Der Dampf kondensiert an den kühleren Innenflächen des Wärmetauschers und gibt die Kondensationswärme an den Heizkreislauf ab /4.9/.

Das nun flüssige Arbeitsmittel wird über ein Expansionsventil (Drossel) entspannt, dabei sinkt die Temperatur des Arbeitsmittels unter das Temperaturniveau der Umweltwärmequelle und der Prozeß wird erneut durchlaufen.

Aufgrund thermodynamischer Eigenschaften der Kältemittel werden gegenüber Verbrennungsprozessen nur relativ geringe Prozeßendtemperaturen (nach der Verdichtung) erreicht, die es erforderlich machen, die Auslegung der Heizflächen auf 55 - 60 °C im Vorlauf zu dimensionieren /4.30/.

Vom Energieangebot gibt es wesentliche Unterschiede innerhalb der Wärmequellen (vgl. Kap. 3). Hinsichtlich der Darbietung überspannen die Wärmequellen Luft und Grundwasser das Einsatzspektrum, deshalb wurden sie als exemplarische Fälle ausgewählt.

#### 4.1.2.2.2.2 Ausführungsbeispiele

##### a) Grundwasser

Grundwasser erlaubt den Betrieb einer Wärmepumpe unter äußerst günstigen Bedingungen, da es nur geringe Schwankungen im jahreszeitlichen Verlauf bei relativ hohem Temperaturniveau gibt (im Mittel etwa 90 °C). Grundwasser-Wärmepumpen können daher ohne Zusatzheizsystem allein den Betrieb übernehmen (monovalent).



Ihre Installation setzt jedoch ein wasserrechtliches Genehmigungsverfahren voraus. Grundlage für die Regelung der Benutzung von Grundwasser ist das Wasserhaushaltsgesetz (WHG) in Verbindung mit den unterschiedlichen Anforderungen der Landeswassergesetze (LWG).

Die auf Antrag erteilte Erlaubnis gewährt die widerrufliche Befugnis einer Gewässernutzung für eine Wärmepumpenanlage. Mit dem Antrag auf Entnahme muß der Antrag auf Wiedereinleitung gefällt werden. Diese Bestimmungen machen es erforderlich, daß die Grundwassernutzung über zwei Brunnen erfolgt (s. Bild 4.7).

Die Versorgung der Wärmepumpe mit Grundwasser übernimmt eine Förderpumpe. Bis maximal 6 m Fördertiefe kann dies über eine preisgünstige selbstansaugende Kreiselpumpe (oberirdisch) erfolgen. Tiefere Brunnen erfordern den Einsatz von Tauchpumpen. Im Verdampfer der Wärmepumpe wird dem Grundwasser Wärme entzogen, dann wird es über den Schluckbrunnen wieder dem Erdreich zugeführt.

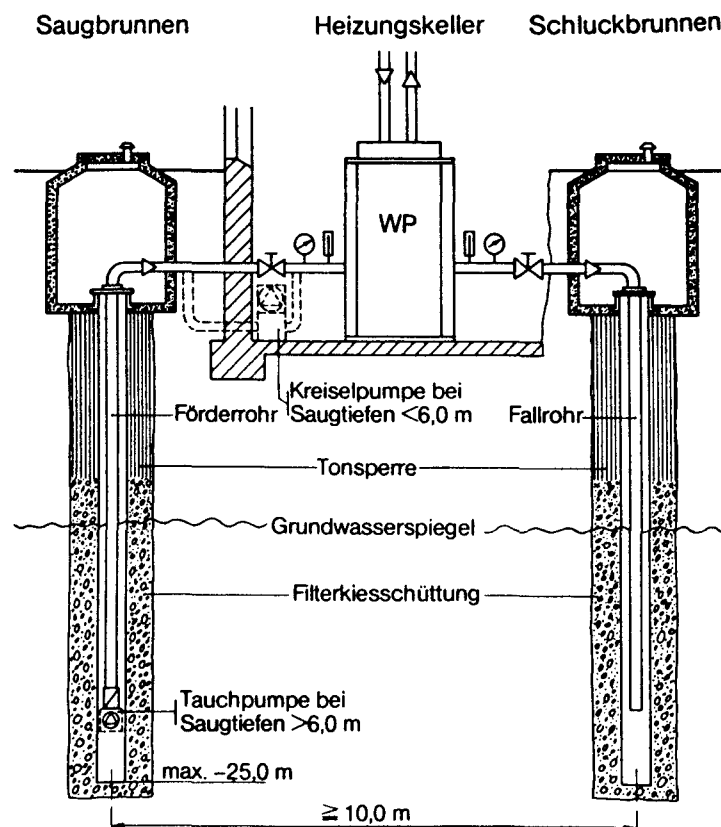


Bild 4.7: Schema einer Grundwasserwärmepumpenanlage /4.42/

Beim Einbringen der Bohrungen muß ein Mindestabstand von 10 m eingehalten werden, damit es zwischen Saug- und Schluckbrunnen nicht zu einem wärmetechnischen Kurzschluß kommt /4.41/.

Weiterhin muß die Ergiebigkeit des Grundwassers und die chemische Zusammensetzung des Wassers untersucht werden. Zur Überprüfung der Brunnenkapazität ist ein Test in einem mehrtägigen Pumpversuch erforderlich, während die chemische Analyse wichtiger für Anlagenwerkstoffe und Brunnenbeschaffenheit ist. Aggressives Wasser kann eine Sonderausführung des Verdampfers in Edelstahl erforderlich machen (gegenüber Standard-Kupferausführung), während hoher Eisengehalt des Grundwassers zu einer Verockerung des Schluckbrunnens führt, so daß er kein Wasser mehr aufnimmt /4.42/.

Da Grundwasser von der Kapazität und der Tiefe her regional sehr unterschiedlich anfällt, handelt es sich bei seiner Nutzung um eine eingeschränkt zur Verfügung stehende Wärmequelle.

#### b) Außenluft

Luft steht als einzige Energiequelle aus der Umwelt überall und uneingeschränkt zur Verfügung. Ihr Nachteil sind die Schwankungen des Energieangebots (s. Kap. 3). und der relativ geringe Energieinhalt dieser Wärmequelle.

Da bei tiefen Temperaturen die Heizleistung der Wärmepumpe abnimmt, werden Außenluft-Wärmepumpen mit einem Zusatzwärmeerzeuger gekoppelt. Bis zu einem bestimmten Temperaturpunkt, der von den örtlichen Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen genehmigt werden muß, übernimmt die Wärmepumpe allein den Heizbetrieb. Dieser Umschaltpunkt liegt je nach Auflage zwischen  $-3^{\circ}\text{C}$  und  $+5^{\circ}\text{C}$ .

Bild 4.8 zeigt die schematische Nutzung der Wärmequelle Außenluft. Über einen Ventilator wird Außenluft durch den Verdampfer gesaugt. Wie beispielhaft gezeigt, wird der Außenluft Wärme entsprechend einer Temperaturdifferenz von  $4^{\circ}\text{C}$  entzogen und dem Wärmepumpenkreislauf zugeführt.

Bei den Bauarten der Außenluft-Wärmepumpen können zwei Varianten unterschieden werden:

1. Verdampfer und Verdichter sind in einem Gehäuse untergebracht und werden in Innenräumen oder im Freien aufgestellt (Kompaktanlagen).

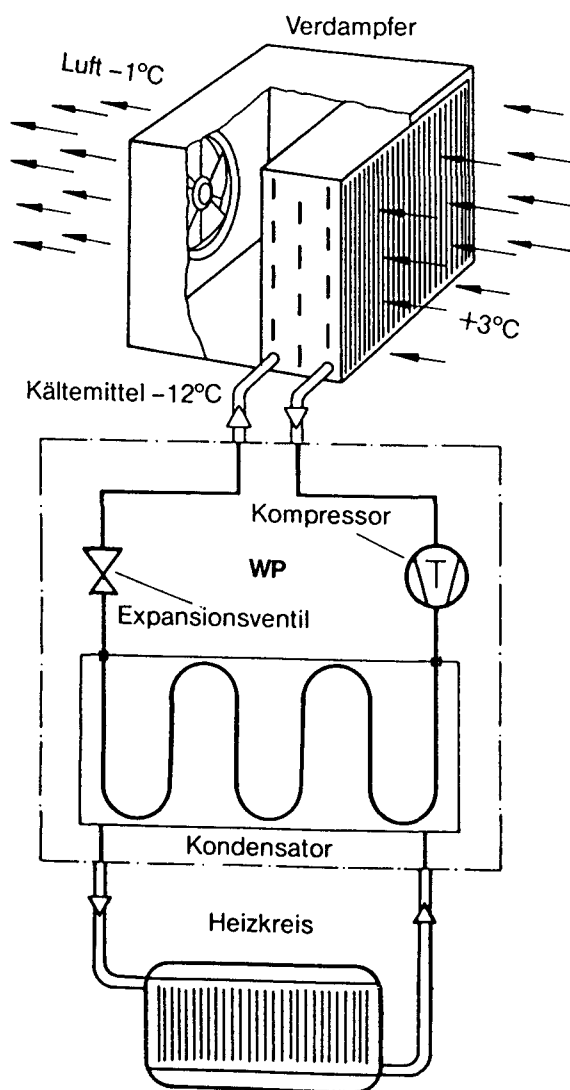


Bild 4.8: Schematische Nutzung der Wärmequelle Außenluft  
/4.43/

2. Verdampfer und Verdichter sind räumlich getrennt aufgestellt (Splitanlagen).

Während Kompaktanlagen relativ einfach vor Ort zu installieren sind, ist bei Splitanlagen das Installieren der Kältemittelverbindungsleitung in der Hausanlage notwendig.

Dem Verdampfer kommt bei der Außenluft-Wärmepumpe eine erhöhte Bedeutung zu. Der Wärmeentzug aus der feuchten Außenluft führt zum Ausfall von Kondenswasser und zur Vereisung des Verdampfers. Da die Temperaturdifferenz zwischen Außenluft und Kältemittel etwa  $6 - 12^{\circ}\text{C}$  ausmachen kann, vereist der Verdampfer an der Zuluftseite schon bei Außentemperaturen zwischen  $5^{\circ}\text{C}$  und  $14^{\circ}\text{C}$  /4.44/. Da durch die Vereisung der Wärmeübergang behindert wird und sich somit die Leistungszahl reduziert, müssen Abtauverfahren eingesetzt werden. Das durch die Abkühlung der Außenluft am Verdampfer anfallende Kondensat sowie das von der Abtauung her anfallende Wasser müssen abgeleitet werden. In Wintermonaten sind dies etwa 200 kg am Tag, während im Übergangsbereich zwischen Frühling und Sommer bis zu 300 kg/Tag anfallen. Der energetische Aufwand zum Abtauen ist abhängig vom Abtauverfahren und macht bei Optimierung der Einsatzbedingungen etwa 3 - 5 % des Jahresenergieverbrauchs aus /4.45/.

#### 4.1.2.3 Heizflächen

Heizflächen geben die vom Wärmeerzeuger bereitgestellte Wärme über Strahlung oder Konvektion in reiner oder gemischter Form ab (s. Bild 4.9). Sie sollen Aufenthaltsräume mit dem Ziel größtmöglicher Behaglichkeit und in ausreichender Zeit nach Absenkungen erwärmen.

Die übliche Warmwasserheizung ist in der Regel auf 90 °C im Vorlauf und 70 °C im Rücklauf ausgelegt. Neben den bereits genannten Sicherheitsgründen (Dampfbildung) waren auch Kostengründe bestimmend, da die lange Zeit überwiegend eingesetzten, teuren Gußradiatoren bei hohen Auslegungstemperaturen klein gehalten werden konnten /4.47/.

Vor allem der Einsatz neuer Techniken und neuer Heizflächen gab Anlaß, von diesen üblichen Bedingungen abzuweichen (vgl. /4.52/).

- a) Die Fußbodenheizung kann aus Behaglichkeitsgründen nur etwa mit einer Bodenoberflächentemperatur von etwa 28 °C arbeiten. Dies erfordert in Abhängigkeit des Bodenaufbaues maximale Vorlauftemperaturen von 45 - 50 °C /4.48/.
- b) Bei Wärmepumpen ist eine Begrenzung des maximalen Vorlaufs auf etwa 55 - 60 °C aus thermodynamischen Einsatzbedingungen des Kältemittels notwendig.
- c) Der Einsatz von Niedertemperaturkesseln erfordert die Reduzierung der Vorlauftemperaturen aus energiesparenden Gründen.

Für den Einsatz von Niedertemperatur-Heizflächen spricht vor allem auch die Gleichmäßigkeit der Temperaturen im Raum, die bei der Auslegung von Raumheizkörpern mit hohen Heizmitteltemperaturen nicht gegeben ist /4.49, 4.50/.

Innerhalb der Niedertemperaturflächen gibt es zwischen Fußbodenheizungen und Niedertemperaturheizungen von der Behaglichkeit her keine wesentlichen Unterschiede, wenn auch der als angenehm empfundene Strahlungsanteil bei Fußbodenheizungen höher ist (s. Bild 4.9) /4.49, 4.54/.

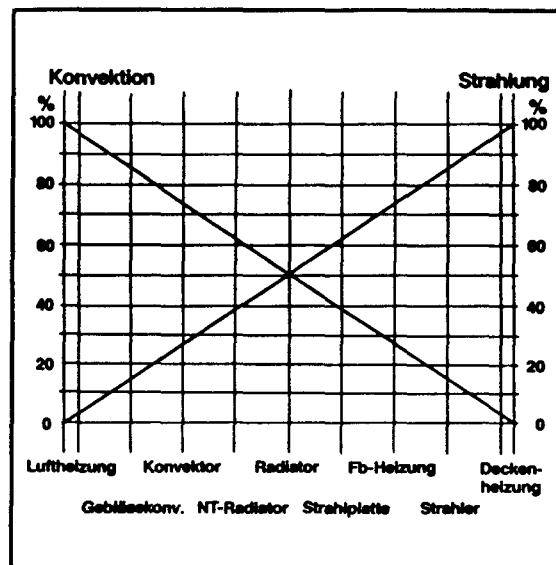


Bild 4.9: Anteile am Wärmetransport durch Konvektion und Strahlung bei verschiedenen Heizflächen /4.51/

Da Fußbodenheizungen bei geringem Wärmeschutz des Gebäudes, wie es z. B. bei Anforderungen nach der DIN 4108/69 der Fall war, die Beheizung der Räume durch die behaglichkeitbedingte Grenze der Fußbodenoberflächentemperatur teilweise nicht allein übernehmen können, werden Fußbodenheizungen aus dem Vergleich ausgeklammert, um die Systemvielfalt im betrachteten Zeitraum auf ein überschaubares Maß reduzieren zu können. Bei Berücksichtigung der Fußbodenheizung müßten sonst kombinierte Heizflächen (Fußbodenheizung und Radiatoren) den Wärmebedarf abdecken.

Für die Prüfung der Wärmeleistung von Raumheizkörpern, um die es sich nun ausschließlich hier handelt, wird für das Heizmedium eine mittlere arithmetrische Normübertemperatur von

$$\Delta t = \frac{t_V + t_R}{2} - t_L \quad \text{Gl. 4.8}$$

angesetzt /4.54/, mit

$t_V$  = Vorlauftemperatur  
 $t_R$  = Rücklauftemperatur  
 $t_L$  = Raumtemperatur

Die Normwärmeleistung bezieht sich auf eine Vorlauftemperatur von 90 °C und eine Rücklauftemperatur von 70 °C. Damit beträgt bei einer Norm-Raumtemperatur von 20 °C die Normübertemperatur 60 °C.

Von diesen Normbedingungen gehen die Dimensionierungstabellen in den Katalogen der Hersteller aus /4.53/.

Für die Umrechnung der Wärmeleistung ( $\dot{Q}$ ) eines Heizkörpers auf andere Übertemperaturen gilt

$$\dot{Q}_{NT} = \dot{Q}_N \cdot \left( \frac{\Delta t_{NT}}{\Delta t_N} \right)^n \quad \text{Gl. 4.9}$$

$\Delta t$  = Übertemperatur

$n$  = Exponent (aus Prüfberichten für  
Radiatoren  $n = 1.3$ )

Indices: NT - Niedertemperaturbedingungen

N - Normbedingungen

In der Praxis wird die Wärmeleistung bei sich ändernden Ausle-  
gungsbedingungen über Korrekturfaktoren tabellarisch bestimmt.  
Aus Tab. 4.3 kann die benötigte Heizflächenkorrektur F gegen-  
über Normbedingungen abgelesen werden /4.55/.

Für Normbedingungen gilt

$$t_V = 90 \text{ °C}, t_L = 20 \text{ °C}, t_R = 70 \text{ °C}$$

Umrechnungsfaktor F für Exponent  $n = 1,30$

$t_V$ °C	$t_L$ °C	$t_R$ in °C					
		45	50	55	60	65	70
90	24	1,71	1,53	1,38	1,27	1,17	1,10
90	22	1,59	1,43	1,31	1,20	1,12	1,05
90	20	1,49	1,35	1,24	1,14	1,07	1,00
90	18	1,40	1,27	1,17	1,09	1,02	0,96
90	15	1,28	1,18	1,09	1,02	0,95	0,90
90	10	1,12	1,04	0,97	0,91	0,86	0,82
75	24	2,08	1,85	1,66	1,52	1,40	-
75	22	1,92	1,72	1,56	1,43	1,33	-
75	20	1,79	1,61	1,47	1,35	1,26	-
75	18	1,67	1,51	1,38	1,28	1,19	-
75	15	1,51	1,38	1,27	1,19	1,11	-
75	10	1,30	1,21	1,12	1,05	0,99	-
70	24	2,25	1,99	1,79	1,63	-	-
70	22	2,07	1,85	1,67	1,53	-	-
70	20	1,91	1,72	1,57	1,44	-	-
70	18	1,78	1,61	1,48	1,36	-	-
70	15	1,61	1,47	1,35	1,26	-	-
70	10	1,38	1,27	1,19	1,11	-	-
65	24	2,44	2,15	1,94	-	-	-
65	22	2,24	1,99	1,80	-	-	-
65	20	2,07	1,85	1,68	-	-	-
65	18	1,91	1,73	1,58	-	-	-
65	15	1,72	1,57	1,44	-	-	-
65	10	1,47	1,35	1,26	-	-	-
60	24	2,68	2,36	-	-	-	-
60	22	2,45	2,17	-	-	-	-
60	20	2,24	2,01	-	-	-	-
60	18	2,07	1,87	-	-	-	-
60	15	1,85	1,68	-	-	-	-
60	10	1,57	1,44	-	-	-	-
55	24	2,98	-	-	-	-	-
55	22	2,70	-	-	-	-	-
55	20	2,46	-	-	-	-	-
55	18	2,26	-	-	-	-	-
55	15	2,01	-	-	-	-	-
55	10	1,68	-	-	-	-	-

Tab. 4.3: Umrechnungsfaktor F für geänderte Auslegungsbedingungen bei Radiatoren gegenüber Normbedingungen /4.55/

Aus der Tabelle ergibt sich eine notwendige Heizflächenvergrößerung gegenüber Normbedingungen um den Faktor 2,98.

Aus der Vergrößerung der Heizflächen ergeben sich zwei Konsequenzen. Zum einen steigt der Platzbedarf, zum anderen erhöhen sich die Anlagekosten für Heizkörper erheblich. Aus Kostengründen wird in der Praxis für konventionelle Niedertemperaturkessel mit Niedertemperatur-Radiatoren eine 70 °C/60 °C-Fahrweise für erstrebenswert gehalten. Die Heizfläche steigt dabei um den Faktor 1,44 /4.56/.



Bei Einsatz von Wärmepumpen sind Heizflächenvergrößerungen aus thermodynamischen Gründen erforderlich. Andererseits wirken sich die erhöhten Wärmeschutzanforderungen flächenvermindernd aus, so daß die Heizkörpergröße und damit die Kosten entsprechend verringert werden können.

#### 4.1.2.4 Regelung

Die Aufgabe der Regelung einer Raumheizanlage besteht in der nutzerorientierten Bereitstellung der Wärme der Raumheizflächen. Dabei sind drei Funktionen zu übernehmen:

- 1) Überprüfung der möglichst genauen Einhaltung der geforderten Raumtemperatur,
- 2) Übernahme zeitlicher Funktionen, wie z. B. Einleiten der Nachtabenkung, Umstellung auf Winterbetrieb bzw. Zu- oder Abschalten von Wärmepumpen in Abhängigkeit vom Bivalenzpunkt,
- 3) Regelung und Steuerung der Aggregate einer Heizungsanlage, wie z. B. Brenner- oder Verdichterregelung.

Die optimale Abstimmung der Regelung erfolgt im Wechselspiel aller den Wärmebedarf eines Gebäudes bestimmenden Größen (vgl. Kap. 3).

Die Regelfähigkeit eines Heizsystems wird wesentlich vom Wärmespeichervermögen eines zu beheizenden Systems bestimmt. Dazu gehört einmal das Wärmespeichervermögen des Gebäudes bzw. der Heizungsanlage selbst. Thermisch träge Gebäude wirken auf instationäre Wärmez- bzw. -abflüsse ausgleichend. So führt die durch Fenster eingestrahlte Sonnenenergie nur nach längerer Zeit oder überhaupt nicht zu Raumüberhitzungen, während die Nachtabenkung zu einer langsamen Entspeicherung der Gebäudewände von etwa 2 °C führt, somit problemlos ist, aber auch keine großen Energieeinsparungen ergibt. Thermisch elastische Gebäude mit geringer Speicherfähigkeit wirken dagegen weniger glättend und liefern bei der Nachtabenkung größere Energiesparbeiträge.

Bei Kombination eines thermisch trägen Gebäudes mit einer wasserreichen Heizung (Fußbodenheizung) sind der nutzerorientierten Regelung enge Grenzen gesetzt, während ein thermisch elastisches Gebäude mit einer wasserarmen Heizung (Luftheizung) weitaus stärker regelbar ist /4.67, 4.69/.

Die Höhe der Außenlufttemperatur ist für den jeweiligen Wärmeleistungsbedarf die bestimmende Größe (s. Bild 4.10).

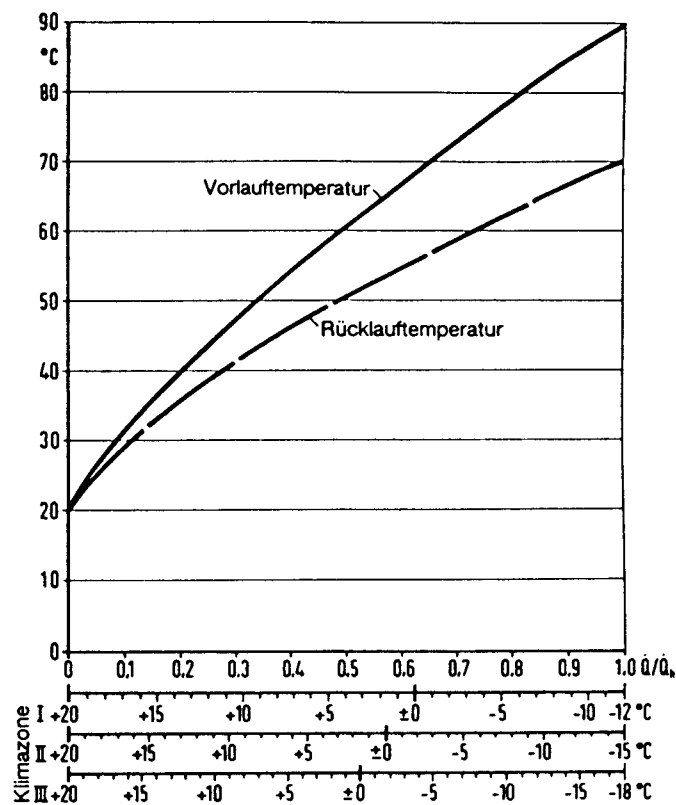


Bild 4.10: Darstellung der erforderlichen Vor- und Rücklauftemperatur in Abhängigkeit der Belastung einer Heizungsanlage sowie in Abhängigkeit der verschiedenen Außentemperaturen der Klimazonen I bis III

Für die Klimazoneneinteilung nach der DIN 4701/59 sind die jeweils benötigten Vorlauftemperaturen einer konventionellen 90/70 °C-Verteilung in Abhängigkeit der Belastung der Heizungsanlage ( $\dot{Q}/\dot{Q}_h$ ) dargestellt.

Die Regelung der Heizleistung kann z. B. über die Erfassung der Außentemperatur erfolgen. Bei zentraler Regelung wird über einen Außenfühler die Außentemperatur gemessen und in Abhängigkeit der in Bild 4.10 dargestellten Heizkurve die Wärmeleistung eingestellt (s. Tab. 4.5).

Mit der zentralen Regelung sind andere Einflüsse, die man unter dem Ausdruck Fremdenergie zusammenfassen kann, wie z. B. sich verändernde Personenzahl im Raum, plötzliche Sonneneinstrahlung durch die Fenster, sich ändernde Beleuchtungs- und Gerätewärme, aber auch zu groß dimensionierte Heizkörper, nicht zu erfassen. Diese Einflüsse können nur über eine Einzelraumregelung ausgeglichen werden. Auch eine Einstellung der gewünschten Raumlufttemperatur in Abhängigkeit von Raumnutzung ist sicher nur mit einer Einzelraumregelung durchzuführen (s. Tab. 4.4 u. 4.5, /4.58 - 4.59, 4.65/).

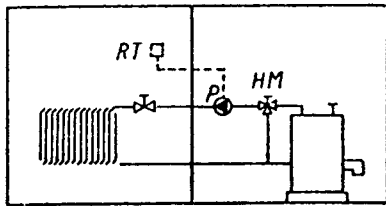
Die Beeinflussung und Regelung der Heizkörperleistung nach Bild 4.10 ist erreichbar durch (s. Tab. 4.4/4.5/):

- 1) Veränderung der Vorlauftemperatur
  - a) durch Mischen
  - b) Regelung der Kesselwassertemperatur
- 2) Veränderung des Heizwasserstromes (über Thermostatventile).

Beide Prinzipien sind in der Heizungsanlagenverordnung vorgeschrieben. Die in den Tab. 4.4 und 4.5 dargestellten Regelungsarten repräsentieren die Anwendungsformen in den Jahren 1972 - 1984, sie sind in der abgebildeten Form teilweise nicht mehr zulässig.

Schema

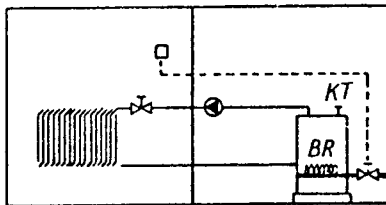
Raumtemperaturregelung



- 1) Raumthermostat (RT) schaltet Umwälzpumpe (P) EIN/AUS. Vorlauftemperatur wird über Handmischbetrieb (HM) eingestellt.

Einsatz: Ölfeuerung

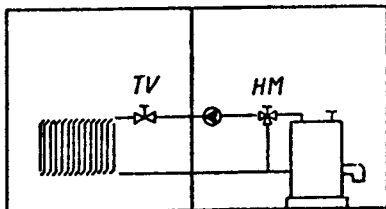
Nach HeizAnlV bis 6/82 zulässig



- 2) Raumthermostat (RT) schaltet Brenner (BR) EIN/AUS. Kessel-(Vorlauf)-Temperatur wird über Kesselthermostaten (KT) eingestellt.

Einsatz: Gasthermen

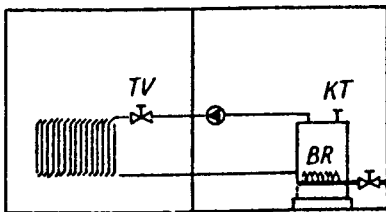
Nach HeizAnlV bis 6/82 zulässig



- 3) Thermostatventile (TV) an allen Heizkörpern Vorlauftemperatur-Einstellung über Handmischventil (HM)

Einsatz: Ölfeuerung

Nach HeizAnlV bis 6/82 zulässig



- 4) Thermostatventile (TV) an allen Heizkörpern Kessel-(Vorlauf)-Temperatur (KT) wird über Kesselthermostaten eingestellt.

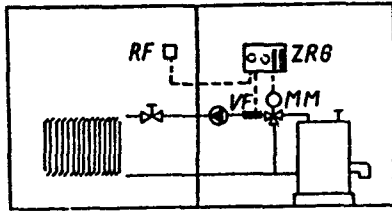
Einsatz: Gasfeuerung

Nach HeizAnlV bis 6/82 zulässig

Tab. 4.4: Raumtemperaturregelung ohne und mit Mischer in Ein- und Zweifamilienhäusern /4.57/

Schema

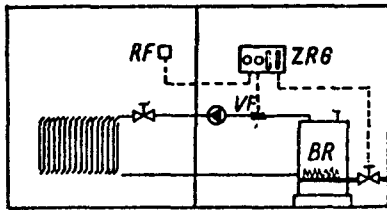
Raumtemperaturregelung



- 1) Zentrales Regelgerät (ZRG) mit Raumfühler (RF) regelt über Motor-mischventil (MM) die Raumtemperatur

Einsatz: Ölfeuerung

Nach HeizAnlV weiter zulässig i.V.m. Thermostatventilen



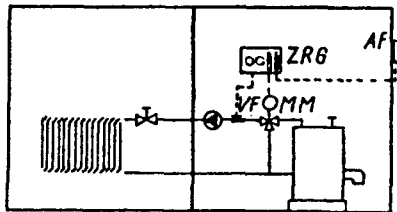
- 2) Zentrales Regelgerät (ZRG) mit Raumfühler (RF) regelt über Kessel-(Vorlauf)-Temperatur die Raumtemperatur

Einsatz: Gasfeuerung

Nach HeizAnlV weiter zulässig i.V.m. Thermostatventilen

Schema

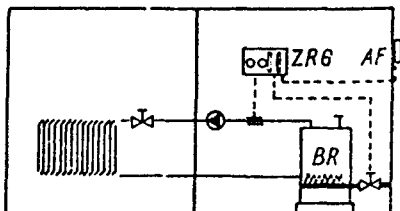
Außentemperaturgesteuerte Regelung



- 3) Zentrales Regelgerät (ZRG) mit Außenfühler (AF) regelt über ein Motormischventil (MM) die Vorlauf-temperatur

Einsatz: Ölfeuerung

Nach HeizAnlV mit Thermostatventilen zulässig bzw. empfohlen



- 4) Zentrales Regelgerät (ZRG) mit Außenfühler (AF) regelt die Kessel-(Vorlauf)-Temperatur

Einsatz: Gasfeuerung

Nach HeizAnlV i.V.m. Thermostat-ventilen zulässig bzw. empfohlen

Tab. 4.5: Raumtemperaturregelung und außentemperaturgesteuerte Regelung in Ein- und Zweifamilienhäusern /4.57/

#### 4.1.3 Elektrische Nachtstromspeicheröfen

Mitte der fünfziger Jahre wiesen die Tagesbelastungskurven der Grundlastkraftwerke in der Bundesrepublik im Winter nachts tiefe Lasttäler auf. Um diese Kraftwerke besser ausnutzen zu können, betrieben die Elektrizitäts-Versorgungs-Unternehmen eine Verstetigung der Lastkurven durch Angebot billigen Stromes im Sonderabkommen /4.60-4.62, 4.68/. Diese Marketingstrategie wurde technisch durch elektrische Speicherheizungen umgesetzt. Innerhalb der Speicherheizgeräte wurden verschiedene Konzepte verfolgt. Während für die raumorientierte Heizung Fußbodenheizung und Einzelöfen eingesetzt werden, nutzen Zentralspeicheranlagen wie konventionelle Verbrennungsheizungsanlagen zentrale Warmwasserverteilungen. 1984 deckten Einzelöfen im untersuchten RWE-Versorgungsgebiet ein Potential von etwa 90 % an der gesamten installierten Speicherleistung ab, während Fußbodenheizungen zu 6,3 % und Zentralspeicher zu 4,7 % beteiligt waren /4.62/. Wegen der Dominanz der Nachtspeichereinzelöfen werden sie stellvertretend für die gesamten konventionellen elektrischen Raumheizungen ausgewählt.

In Speicherheizgeräten wird Strom aus den genannten Gründen ausschließlich zur Schwachlastzeit in Wärme umgewandelt und für eine tagsüber benötigte Wärmeabgabe im Kern des Gerätes gespeichert (s. Bild 4.11).

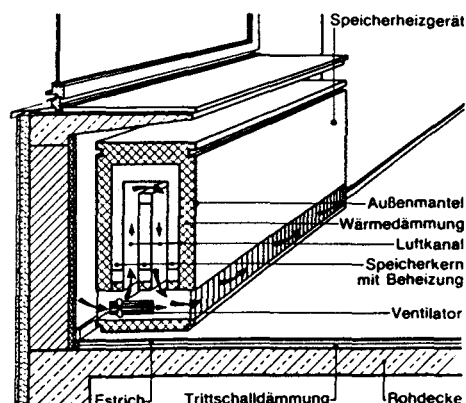


Bild 4.11: Nachtspeichereinzelofen mit dynamischer Entladung und steuerbarer Wärmeabgabe /4.62/

Die Wärmeabgabe erfolgt durch statische Entladung über die Oberfläche bzw. durch gesteuerte dynamische Entladung über einen Ventilator.

Alle Einzelöfen eines Gebäudes werden über eine witterungsabhängige automatische Aufladeregulierung, die seit 1972 obligatorisch ist, unter Berücksichtigung der im Kern verbleibenden Restwärme gesteuert /4.64/.

Speichereinzelöfen unterliegen praktisch nicht der Heizungsanlagen-Verordnung, da erst Geräte mit einer Heizleistung größer als 4 kW einbezogen werden. Diese für ein Einzelgerät relativ hohen Leistungen werden kaum erreicht, da bei Einsatz elektrischer Heizsysteme schon vor Einführung der Wärmeschutzverordnung erhöhte Anforderungen der Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen galten /4.63/.

#### 4.2 Energieverbrauch von Heizungsanlagen

Für den Energieverbrauch einer Heizungsanlage sind aus technischer Sicht neben den bauphysikalischen, klimatischen und nutzerorientierten Gegebenheiten die knappe Auslegung des Wärmeerzeugers und die Anpassung der Wärmeleistung an den sich täglich verändernden Wärmebedarf durch gute Regelung ausschlaggebend. Sie bestimmen maßgeblich den Nutzungsgrad einer Heizanlage, der wiederum in die Bestimmung der Energieverbräuche eingeht.

##### 4.2.1 Auslegungsleistung und Betriebsverhalten von Heizanlagen

###### 4.2.1.1 Konventionelle Heizungsanlagen

###### 4.2.1.1.1 Verbrennungsanlagen

Konventionelle Verbrennungs-Wärmeerzeuger (Öl, Gas, Kohle) werden nach der den Wärmebedarfsrechnungen zugrunde gelegten tiefsten Außentemperatur dimensioniert (Dimensionierungspunkt). Wie Bild 4.12 zeigt, wird diese Auslegungsleistung kaum in Anspruch genommen.

Diese Dauerlinie stellt theoretische Anforderungen bei reiner Außenlufttemperatur-Berücksichtigung dar. Der tatsächliche Wärmebedarf eines Hauses weicht davon ab. Dies hängt damit zusammen, daß zum einen bei der theoretischen Wärmebe-

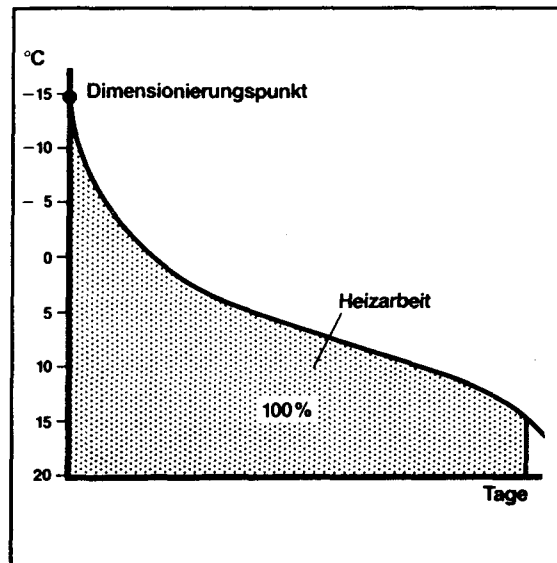


Bild 4.12: Dauerlinie der Belastung eines konventionellen Wärmeerzeugers

darfsermittlung sowohl vom Rechengang her Reserven zugelassen werden als auch zum anderen Einflüsse der Fremdwärme (Sonne, interne Lasten) unvollkommen berücksichtigt werden (s. Kap. 3.7). Weiterhin ergeben sich Abweichungen vom theoretischen Verlauf durch regelungstechnische Maßnahmen (z. B. Nachtabsenkung).

Diese Zusammenhänge werden in Bild 4.13 dargestellt. Nach Nacht- oder Totalabsenkung beginnt der Aufheizgang mit erhöhter Belastung um 6.00 h (etwa 2 Stunden). Infolge der zunehmenden Fremdwärme (Sonne, Geräte im Haushalt) nimmt die Belastung ab und verläuft bis etwa 16.00 h konstant. Nach Sonnenuntergang steigt die Belastung, ehe sie etwa gegen 22.00 h durch eingeschränkten Betrieb oder Totalabschaltung reduziert wird. Die Aufsummierung aller Teillastzustände ergibt die in Bild 4.12 dargestellte Belastungskurve.



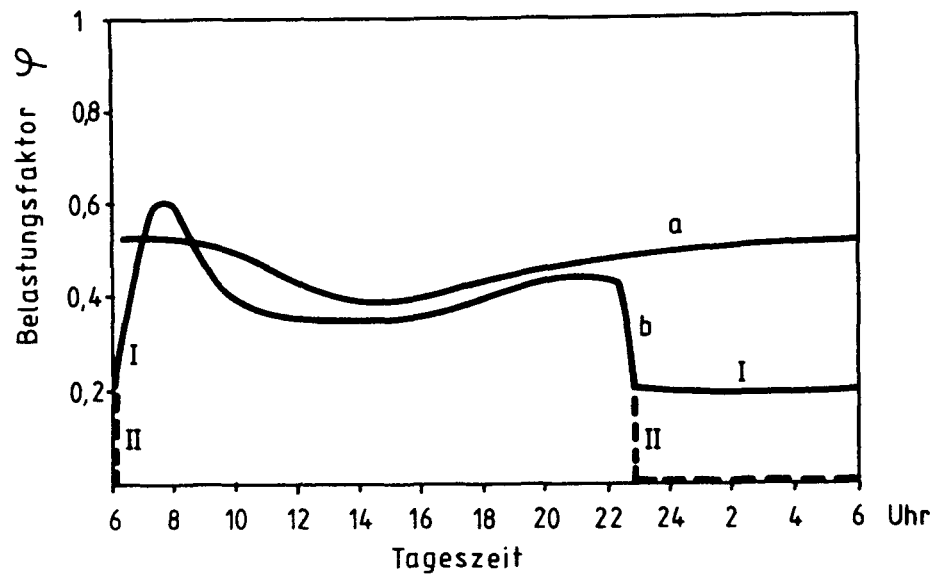


Bild 4.13: Belastung einer Heizungsanlage in Abhängigkeit vom täglichen Außentemperaturverlauf (Tagestemperaturen zwischen  $+3$  und  $+8$  °C) /4.71/

a) theoretische Belastung nach Außenklima

b) reduzierte, tatsächliche Belastung

I = Nachtabsenkung mit Bereitschaft

II = Totalabschaltung

Die Konsequenzen unterschiedlicher Belastung der Wärmeerzeuger werden in Bild 4.14 in drei Grafiken erläutert. In der oberen Grafik sind die den Außentemperaturen zugeordneten Belastungsfaktoren der Heizungsanlage eingetragen. Der Anfall der einzelnen Belastungen im Jahresverlauf kann der Häufigkeitslinie entnommen werden. Für zwei Belastungsfaktoren (0,6 und 0,3) sind die entsprechenden Linien eingezeichnet. Danach ist die Heizungsanlage im Jahr zu etwa 20 % der Einsatzzeit mit 60 % oder mehr belastet. Andererseits kann der Grafik entnommen werden, daß die zu erwartende Belastung einer Heizungsanlage für 60 % der Betriebszeit nur etwa 30 % erreicht.

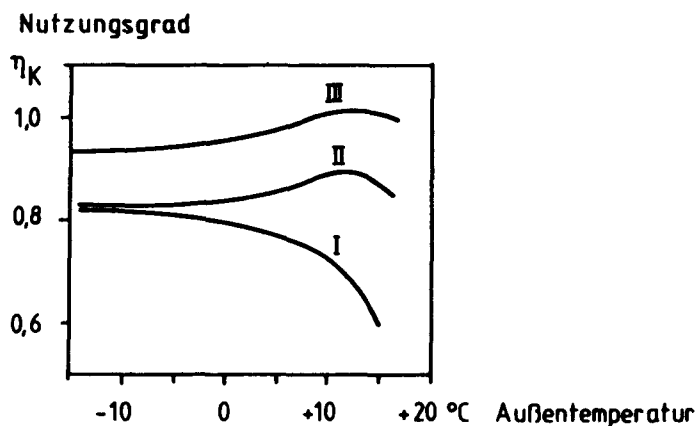
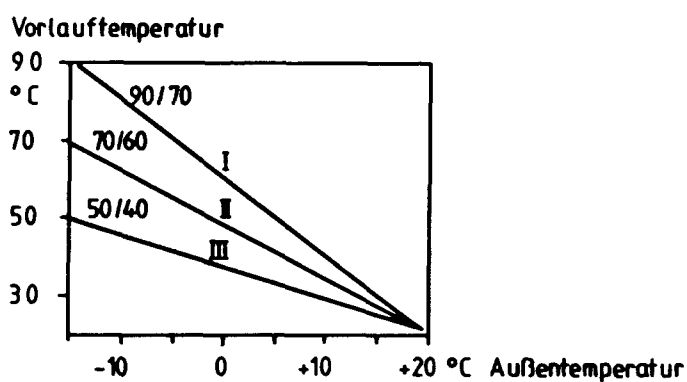
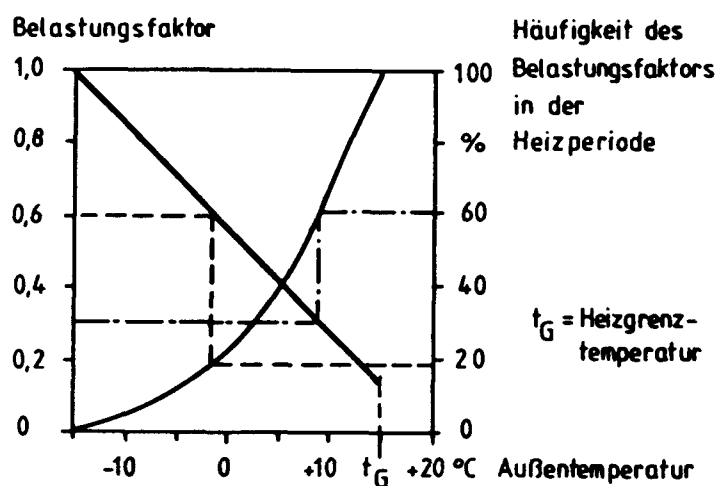


Bild 4.14: Betriebsverhalten verschiedener Wärmeerzeuger in Abhängigkeit ihrer Belastung /4.70/  
a) Belastungsfaktor und Häufigkeiten in Abhängigkeit der Außentemperatur (obere Grafik)  
b) Heizkurven bei verschiedenen Auslegungstemperaturen (mittlere Grafik)

I = Kesseltemperatur konst. ( $\sim 80$  °C), konv. Kessel

II = gleitende Kesseltemperatur, Niedertemperatur-Kessel

III = gleitende Kesseltemperatur, Kondensationskessel

c) Nutzungsgrade (untere Grafik)

In der mittleren Grafik des Bildes 4.14 sind für 3 Heizsysteme die Heizkurven dargestellt. Die Kurzcharakteristik der Systeme lautet /4.70/:

- I) konventioneller Heizkessel, Kesseltemperatur konstant bis  $80^{\circ}\text{C}$ , konventionelle  $90/70^{\circ}\text{C}$ -Verteilung
- II) Niedertemperaturkessel, Betriebsweise mit gleicher Kesseltemperatur, Verteilung  $70/60^{\circ}\text{C}$
- III) Brennwertkessel (Gas), Betriebsweise mit gleitender Kesseltemperatur,  $50/40^{\circ}\text{C}$ -Verteilung ermöglicht Dauerbetrieb im Kondensationsbereich

Die untere Grafik des Bildes 4.14 zeigt den sich verändernden Nutzungsgrad in Abhängigkeit der Belastung der Heizungsanlage und der Betriebsweisen.

Beim konventionellen Kessel (Nr. I) steht die Bereitschaftstemperatur immer auf  $80^{\circ}\text{C}$ . Bei einer Außentemperatur von z. B.  $0^{\circ}\text{C}$  wären nur  $60^{\circ}\text{C}$ -Vorlauftemperatur nötig, bei  $10^{\circ}\text{C}$  Außentemperatur gut  $40^{\circ}\text{C}$ -Vorlauftemperatur. Dies hat zur Folge, daß ein wesentlicher Teil der Wärmeverluste des Kessels, nämlich die Oberflächenverluste auch Konvektion und Strahlung vom Belastungsgrad des Kessels unabhängig hoch bleibt, während die Brennerstillstandzeiten mit abnehmender Belastung größer werden, so daß sich zusätzlich die Bereitschaftsverluste erhöhen. Daraus resultiert der dargestellte fallende Nutzungsgradverlauf im Bereich kleiner Kesselbelastungen.

Gegenüber diesen Bedingungen kommen beim Einsatz des Niedertemperaturkessels folgende Maßnahmen zum Tragen:

- a) gleitender Betrieb
- b) Abschaltungen (Teil- und Totalabschaltung)
- c) Abgaskühlung (kaltes Mischlaufwasser)
- d) geringe Wasserinhalte

Gegenüber dem konventionellen Kessel ergibt sich geradezu eine gegenläufige Entwicklung, nämlich bei Teilauslastung ist der Nutzungsgrad höher als bei Vollast. Dies liegt an den teilweise überproportional abnehmenden Verlusten bei sinkender Belastung.

Anlage Nr. III unterscheidet sich gegenüber Nr. II durch die konstruktiv bedingte zusätzliche Abkühlung der Abgase unter den Kondensationspunkt, so daß hier noch zusätzlich erhebliche Gewinne aus der Kondensation des Wasserdampfes freiwerden /4.70/. Aus den Häufigkeiten der Teilnutzungsgrade läßt sich durch Berücksichtigung der entsprechenden Häufigkeiten der Jahresnutzungsgrad ermitteln (vgl. auch /6.82/).

#### 4.2.1.1.2 Fernwärme

Die Fernwärmeheizung unterscheidet sich von den üblichen konventionellen Heizsystemen dadurch, daß im Haus selbst keine Wärmeerzeugung stattfindet. Die Wärmeübergabestation ersetzt den Wärmeerzeuger. Bei der Übergabe unterscheidet man zwischen

- direkter und
- indirekter Übergabe.

Bei der indirekten Übergabe befindet sich in der Hausanlage ein zusätzlicher Wärmetauscher. Diese Stationen sind daher teurer als direkte, die die Wärme ohne Wärmetauscher übergeben. Die indirekte Übergabe erfolgt vorwiegend im Altbau, wo die vorhandenen Verteilungsnetze den Druckbedingungen einer direkten Übergabe nicht gewachsen sind. Im Neubau wird die direkte Übergabe angestrebt /4.73-4.74/.

Die Wärmeübergabestation besteht dann aus folgenden Komponenten (Bild 4.15):

- Absperr- und Entlüftungsventile,
- Wärmemengenzähler,
- Sicherheitseinrichtungen,
- Druckreduzierung,
- Temperaturbegrenzer,
- Mengengrenzer,
- Rückschlagventil.

Die Wärmeübergabestation stellt auch rechtlich die Abgrenzung zwischen Fernheiznetz und Hausanlage dar. Sie ist deshalb in der Regel Eigentum des Fernwärmelieferanten; die Hausanlage wird vom Hauseigentümer erstellt.

Durch die direkte Übergabe des Heizwassers aus dem Fernwärmenetz fallen kaum Verluste an (ca. 2 %). Die Regelung der Raumtemperatur erfolgt zentral durch Beimischung von Rücklaufwasser (Temperatur-Beimischregelung s. Bild 4.15).

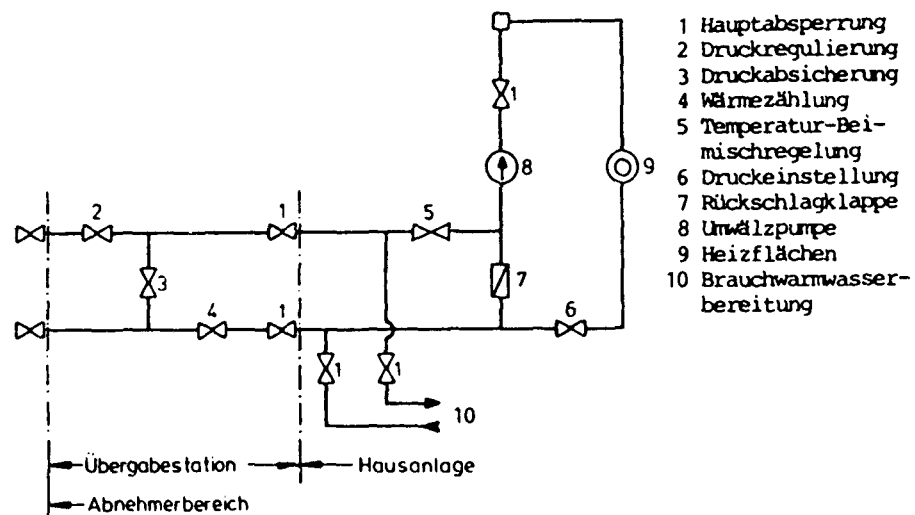


Bild 4.15: Schema einer Fernwärmehausstation (Übergabestation und Hausanlage /4.72/)

Die Auslegung des Verteilungsnetzes erfolgt wie üblich nach DIN 4701. Es gibt keine einheitliche Fahrweise in den Netzen der Fernwärme-Versorgungs-Unternehmen, insofern gibt es auch unterschiedliche Vorlauftemperaturen im Punkt der Übergabe.

Der Verbraucher bzw. der Planer kann das Verteilungsnetz im Haus daher bis zur höchst zulässigen Vorlauftemperatur von 110 °C auslegen /4.17, 4.73/.

#### 4.2.1.1.3 Nachtstromspeicheröfen

Während übliche konventionelle Anlagen dann heizen, wenn Wärme benötigt wird, geschieht dies bei Speicheröfen mit einem Zeitverzug. Die Speicheröfen werden im Vorlauf derart aufgeladen, daß die gespeicherte Wärme am nächsten Tag in ausreichender Menge zur Verfügung steht. Während der Wärmebedarf wie bei anderen konventionellen Systemen nach DIN 4701 berechnet wird, gibt es bei der Auslegung gegenüber den Verbrennungsanlagen erhebliche Unterschiede. Bei der elektrischen Speicherheizung muß mit einer erhöhten installierten Leistung Wärme eingespeichert werden. Die Höhe der Leistung hängt von der Bauart der Geräte, der zur Verfügung stehenden Nachtladezeit sowie der Möglichkeit der Inanspruchnahme zusätzlicher täglicher Nachladezeit ab.

Nach Dimensionierungsrichtlinien der Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung (HEA), Frankfurt wird für Geräte der Bauart III, die als typische Geräte im Zeitraum 1972 - 1984 gelten können, folgender Ansatz vorgeschlagen /4.75/:

$$P_{el} = \frac{\dot{Q}_h}{860} \cdot \left( \frac{t_v + t_B}{t_{Sp}} \right) \cdot \sigma = \frac{Q_h}{860} \cdot f \quad \text{Gl. 4.10}$$

- $\dot{Q}_h$  = Leistungsbedarf nach DIN 4701
- $t_v$  = Standzeit des Gerätes
- $t_B$  = Nennbetriebszeit
- $t_{Sp}$  = Speicherzeit
- $\sigma$  = Verlustfaktor
- $f$  = Speicherfaktor

Der Speicherfaktor  $f$  gibt den gegenüber der DIN 4701 notwendigen Leistungsaufschlag an. Für Einzelwohnräume liegt dieser bei der im Versorgungsgebiet des Rheinisch-Westfälischen-Elektrizitätswerkes üblichen Nachtladezeit (21.00 - 6.00) von 9 Stunden bei 2,0 /4.76/.

	Spezifischer Wärmebedarf ( $\text{W/m}^2$ )					
	DIN 4108 1969	RWE- Empfehlung 1954	RWE- Praxis 1970	Wärmeschutz- verordnung 1977	RWE- Empfehlung 1980	Wärmeschutz- verordnung 1982
	DIN 4701/1959					DIN 4701/1983
Einfamilien- Reihenhaus	129	90	100	96	80	55
Einfamilienhaus freistehend	155	100	110	107	90	56

Tab. 4.6: Spezifische Wärmebedarfswerte ( $\text{W/m}^2$ ) für Klimazone II

Durch Nachladung im Tagesverlauf läßt sich die Höhe der zu installierenden elektrischen Leistung beeinflussen. Da im RWE-Versorgungsgebiet nach 1972 kaum noch Nachladezeiten zur Verfügung standen, bleibt dieser Aspekt jedoch unberücksichtigt.

Das Betriebsverhalten der Speicheröfen in den Ladezeiten ist durch Inanspruchnahme der vollen installierten Leistung gekennzeichnet. Eine der konventionellen Wärmeerzeugung entsprechende Abhängigkeit vom Belastungsgrad tritt hier nicht auf. Der in den Widerstandsheizungen eingesetzte Strom wird praktisch zu 100 % im Raum umgesetzt.

Bei der Dimensionierung von elektrischen Raumheizanlagen sind weiterhin die Wärmeschutzempfehlungen der Energie-Versorgungs-Unternehmen zu beachten. Die im Zeitraum 1972 - 1984 gestellten Anforderungen nach den Empfehlungen des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes können der Tab. 4.6 entnommen werden /4.77/. Die erhöhten Wärmeschutzanforderungen haben ihre besondere Bedeutung im Zeitraum bis zur 1. Wärmeschutzverordnung gehabt, in der sie die Forderungen der DIN 4108/1969 weit überschritten. In der Praxis wurden diese Anforderungen weitgehend befolgt /4.78/. Den Dimensionierungsrechnungen für den Gültigkeitszeitraum der DIN 4108/69 werden diese Praxiswerte zugrunde gelegt. 1980 hat das Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk

im Vorgriff auf die zu erwartende Novellierung der Wärmeschutzverordnung ihre Empfehlungen verschärft, die vorher mit der Wärmeschutzverordnung fast identisch waren. Ab Gültigkeit der Wärmeschutzverordnung wurde jedoch in Heizkostenvergleichen mit Breitenwirkung bei elektrischen Raumheizungen kein zusätzlicher Wärmeschutzaufwand angesetzt, da Empfehlungen und Anforderung bereits relativ nahe beieinander lagen (z. B. /6.79 - 6.81/). Dieser Praxis wird hier gefolgt, auch wenn die RWE-Empfehlungen dadurch nicht ganz erreicht werden.

#### 4.2.1.2 Wärmepumpen

##### 4.2.1.2.1 Monovalente Grundwasser-Wärmepumpe

Beim monovalenten Betrieb wird eine Wärmepumpe wie ein Heizkessel ausgelegt, ihre Leistung wird über den kältesten Tag bestimmt und die Wärmepumpe übernimmt im Jahresverlauf allein die Wärmeversorgung. Der gravierende Unterschied zum konventionellen Kessel liegt darin, daß mit steigenden Außentemperaturen die Einsatzbedingungen der Wärmepumpe immer günstiger werden, da die Differenz zwischen Vorlauftemperatur und Wärmespeicher Grundwasser immer geringer werden.

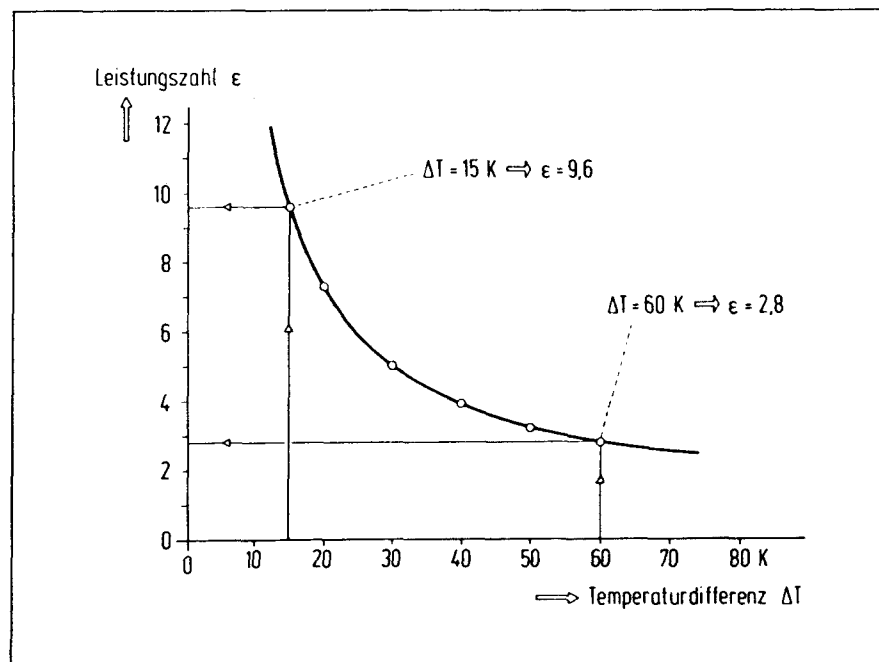


Bild 4.16: Temperaturabhängigkeit der Leistungszahl beim Wärmepumpenprozeß /4.83/



Geht man von den idealisierten Bedingungen des Carnot-Prozesses aus, so läßt sich die Temperaturabhängigkeit des Wärmepumpenprozesses angeben zu

$$\epsilon_C = \frac{T}{T - T_0} = \frac{T}{\Delta T} \quad \text{Gl. 4.11}$$

$\epsilon_C$  = Leistungszahl des Carnot-Prozesses

$T$  = Temperatur der Wärmequelle

$T_0$  = Heizungsvorlauftemperatur

Gegenüber den idealisierten theoretischen Bedingungen kann in der Praxis zur ersten Einschätzung mit einer Leistungszahl von

$$\epsilon_{pr} = \sim 0,5 \cdot \epsilon_C \quad \text{Gl. 4.12}$$

gerechnet werden (s. Bild 4.16).

Für zwei Anwendungsbeispiele sind diese Zusammenhänge in Bild 4.17 erläutert. Die Wärmepumpe hat einmal in ein 60/50-Netz einzuspeisen. Diese Bedingungen sind thermodynamisch ungünstig, da sie sich im Grenzbereich des Arbeitsmittels befinden. Als Alternative wird ein 45/40-Netz betrachtet. In der mittleren Grafik des Bildes 4.17 sind die sich nach den entsprechenden Temperaturverläufen einstellenden Leistungszahlen eingetragen. Die Unterschiede zwischen beiden Auslegungen führen etwa zu einer Verringerung der mittleren jährlichen Leistungszahl von 3.6 auf etwa 2.5 /4.84/.

Für die Auslegung ist jedoch die Leistungszahl im Auslegungspunkt maßgeblich. Damit ergibt sich die Auslegungsleistung zu

$$P_{el} = \dot{Q}_h / \epsilon \quad \text{Gl. 4.13}$$

$P_{el}$  = elektrische Leistung des Verdichters

$\dot{Q}_h$  = Wärmebedarf DIN 4701

$\epsilon$  = Leistungszahl im Auslegungspunkt

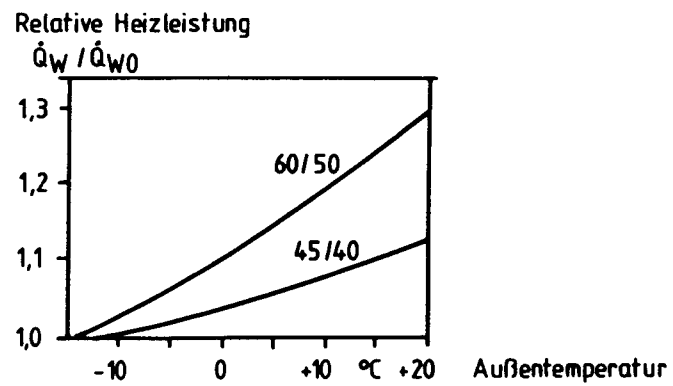
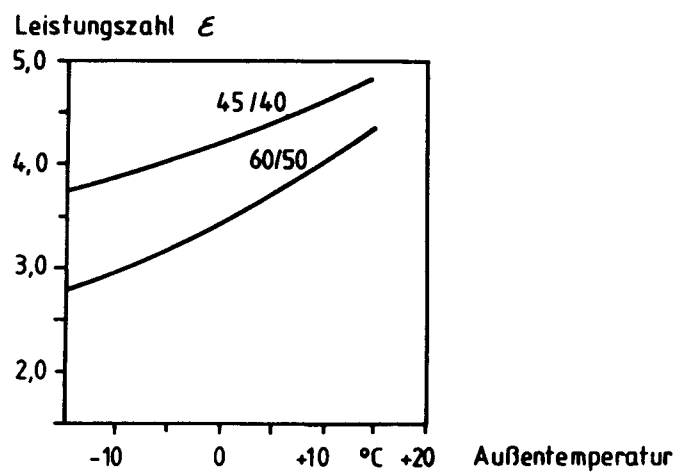
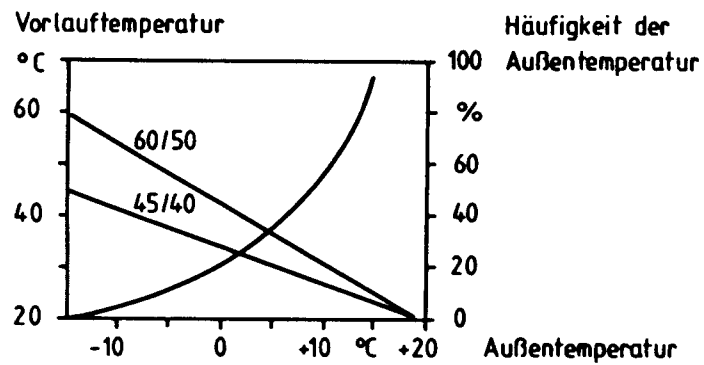


Bild 4.17: Leistungsbedarf einer monovalenten Grundwasser-Wärmepumpe für zwei Auslegungstemperaturen /4.85/

Geht man beispielhaft von einer Heizleistung von 15 kW aus, so ist die erforderliche elektrische Antriebsleistung des Verdichters

$$\begin{aligned} \text{a) } 60/50 \text{ }^{\circ}\text{C: } P_{el} &= 15/2.1 = 7,14 \text{ kW}_{el} \\ \text{b) } 45/40 \text{ }^{\circ}\text{C: } P_{el} &= 15/2.75 = 5,45 \text{ kW}_{el} \end{aligned}$$

Die thermodynamisch ungünstige Anpassung hat zweierlei Konsequenzen. Zum einen erhöhen sich die Anlagekosten, während zum anderen die Energieverbräuche ungünstig liegen.

Wenn die Heizleistung der Wärmepumpe unregelt die Wärmebedarfsdeckung übernimmt, ergeben sich die in Bild 4.17 (untere Grafik) dargestellten Verhältnisse. Einem sich verringernden Wärmebedarf steht ein ständig steigendes Wärmeangebot des Verdichters gegenüber. Da übliche Heizungsanlagen einen kleinen Wasserinhalt haben, wenig träge sind, führt das Wärmeüberangebot im Teillastbereich zum häufigen Ein- und Ausschalten (Takten) der Wärmepumpe. Dies erhöht den Verschleiß der Wärmepumpe stark und hat wegen der leistungsmindernden Auskühlverluste auch Auswirkungen auf die Energiebilanz.

Um die Schaltzahlen zu begrenzen, wird entweder ein Pufferspeicher zwischengeschaltet oder die Laufzeit der Wärmepumpe regelungstechnisch beeinflusst /4.42, 4.86 - 4.89/. Für die Auslegung von Wärmepumpen sind weiterhin die Forderungen der Bundestarifordnung für Strom von großer Bedeutung. Für Wärmepumpen, die ohne Unterbrechung betrieben werden, wird ein zusätzlicher Bereitstellungspreis verlangt, da diese Wärmepumpen die gesamten Leistungskosten der Stromwirtschaft beeinflussen, während zum Beispiel die Nachtspeicheröfen nur auf die Betriebskosten Einfluß haben. Der zusätzliche Bereitstellungspreis entfällt bei Wärmepumpen, bei denen das EVU berechtigt ist, den Elektrizitätsbezug nicht länger als jeweils 2 Stunden hintereinander und insgesamt nicht länger als 6 Stunden innerhalb von 24 Stunden über eine zentrale Steuerung zu unterbrechen, wobei die Betriebszeit zwischen zwei Sperrzeiten nicht kürzer als die vorangegangene Sperrzeit sein darf (monovalent-unterbrechbarer Betrieb) /4.90/.

Diese Bedingungen erfordern nach Herstellerangaben die Einplanung eines Sperrzeit-Pufferspeichers und haben auch Einfluß auf die Dimensionierung der Anlage. Nach der Gesamtdauer der Sperrzeit sind die Werte der DIN 4701 mit einem Aufschlag (f) zu multiplizieren /4.92/.

Gesamte Sperrzeitdauer:	2 h: f = 1.1
	4 h: f = 1.2
	6 h: f = 1.4

#### 4.2.1.2.2 Bivalent-alternative Außenluft-Wärmepumpe

Elektrische Außenluft-Wärmepumpen können grundsätzlich sowohl monovalent als auch bivalent betrieben werden. Bild 4.18 zeigt jedoch, daß bei tiefen Außentemperaturen die Leistungszahl der Wärmepumpe für beide Auslegungsfälle sehr ungünstig wird. Aus diesem Grunde kann die monovalente Betriebsweise der Außenluft-Wärmepumpe von den Elektrizitäts-Versorgungs-Unternehmen abgelehnt werden, da sie erheblich die Leistungscharakteristik des Netzes beeinflußt. Bei der bivalenten Wärmeerzeugung ist sowohl die bivalent-teilparallele Betriebsweise (unter  $+3^{\circ}\text{C}$  schaltet sich der konventionelle Wärmeerzeuger zu) als auch die bivalent-alternative (unter  $+3^{\circ}\text{C}$  übernimmt der konventionelle Wärmeerzeuger alleine die Raumwärmebereitstellung) möglich.

Am häufigsten ist jedoch die bivalent-alternative Betriebsweise mit Umschaltpunkten zwischen  $-3^{\circ}\text{C}$  und  $+3^{\circ}\text{C}$ , die hier auch nur betrachtet wird.

Nach der Bundestarifordnung Strom wird bei Umschaltpunkten unter  $+3^{\circ}\text{C}$  ein zusätzlicher Bereitstellungspreis gefordert. Soll der Leistungspreis vermieden werden, so muß wie bei monovalenter Betriebsweise eine Sperrzeit einkalkuliert werden, die dieselben Auswirkungen auf Speicher und Dimensionierung wie dort haben.

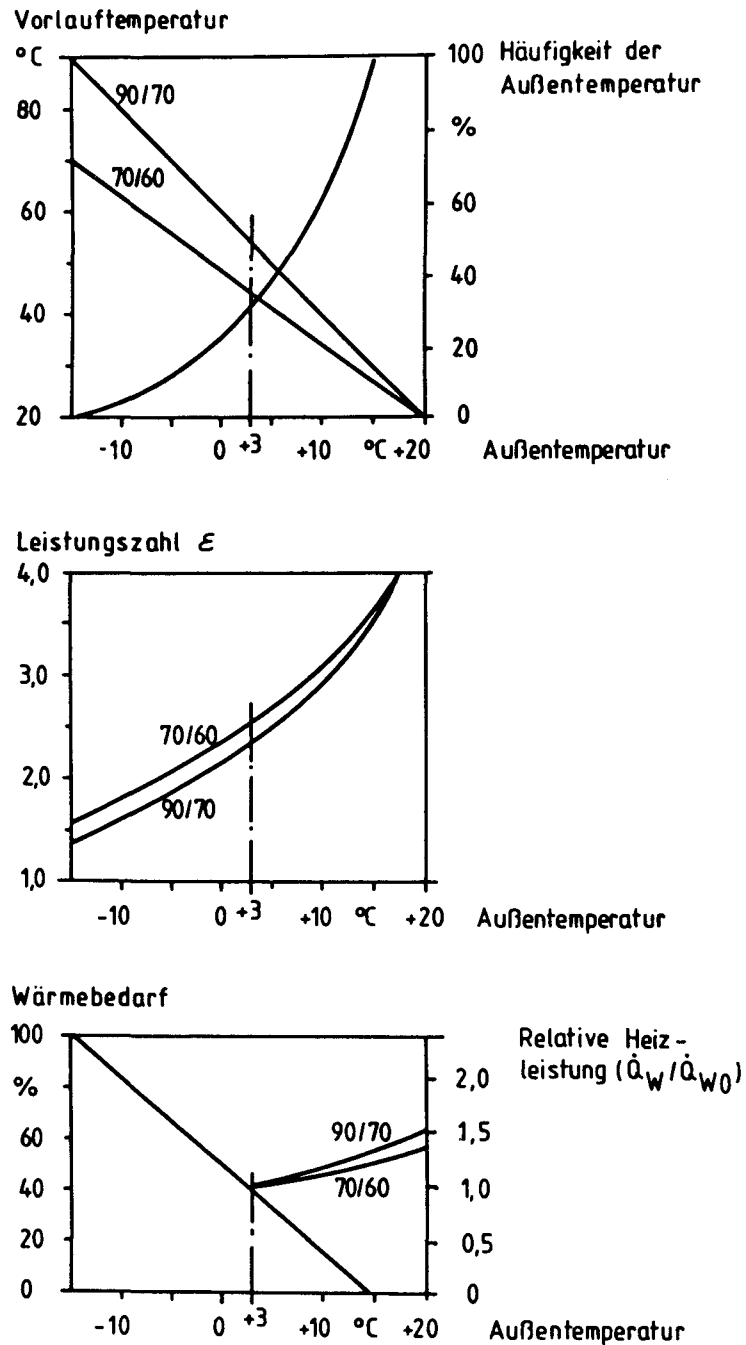


Bild 4.18: Leistungsbedarf einer bivalent-alternativen Außenluft-Wärmepumpe für zwei Auslegungstemperaturen /4.85, 4.93/

Der Vergleich der Leistungszahlen bei den Auslegungstemperaturen zeigt, daß es sinnvoll ist, die gesamte Anlage auf eine Fahrweise von 70/60 °C zu dimensionieren, da die Wärmepumpe beim Einschalten (+3 °C) nur noch eine Vorlauftemperatur von 45 °C erreichen muß (s. Bild 4.18, mittlere Grafik).

Als Zusatzsystem kommt in der Regel ein Ölkessel zum Einsatz. Da der Ölkessel bei der alternativen Betriebsweise nur noch die Spitzenlast abdeckt, arbeitet er gegenüber normalem Betrieb in einem günstigen Lastbereich, so daß der Jahresnutzungsgrad etwa 2 - 3 % günstiger liegt.

Während der Ölkessel auf die volle Heizleistung dimensioniert werden muß, genügt bei der Wärmepumpe die Dimensionierung auf etwa 40 % der Heizleistung nach DIN 4701 (bei +3 °C - s. Bild 4.18 untere Grafik).

#### 4.2.2 Verfahren zur Vorausberechnung des Energieverbrauchs

Bis zum Aufkommen neuer Heizsysteme (Wärmepumpen, Solaranlagen) lag dem Planer eine einheitliche Quelle zur Berechnung und zum Vergleich verschiedener Raumheizanlagen vor. Dies ist die VDI 2067 "Wirtschaftlichkeitsberechnungen von Wärmeverbrauchsanlagen". Der Verein Deutscher Ingenieure (VDI) hat eine Berechnung neuer Systeme bisher nicht eingegliedert, so daß auf andere Quellen zurückgegriffen werden muß.

##### 4.2.2.1 Berechnung konventioneller Systeme

###### 4.2.2.1.1 Wärmeverbrauch (Nutzwärme)

Bild 4.19 (obere Grafik) zeigt qualitativ die zur Raumerwärmung benötigte Heizleistung  $\dot{Q}_h$  (ohne Umwandlungsverluste). Bei einer unterstellten Raumtemperatur von 20 °C muß der Bereich 1-3-4-5 abgedeckt werden. Da die Heizperiode jedoch erst bei Außentemperaturen unter 15 °C (Heizgrenztemperatur) beginnt, ist die eigentliche Heizarbeit des Wärmeeerzeugers durch den

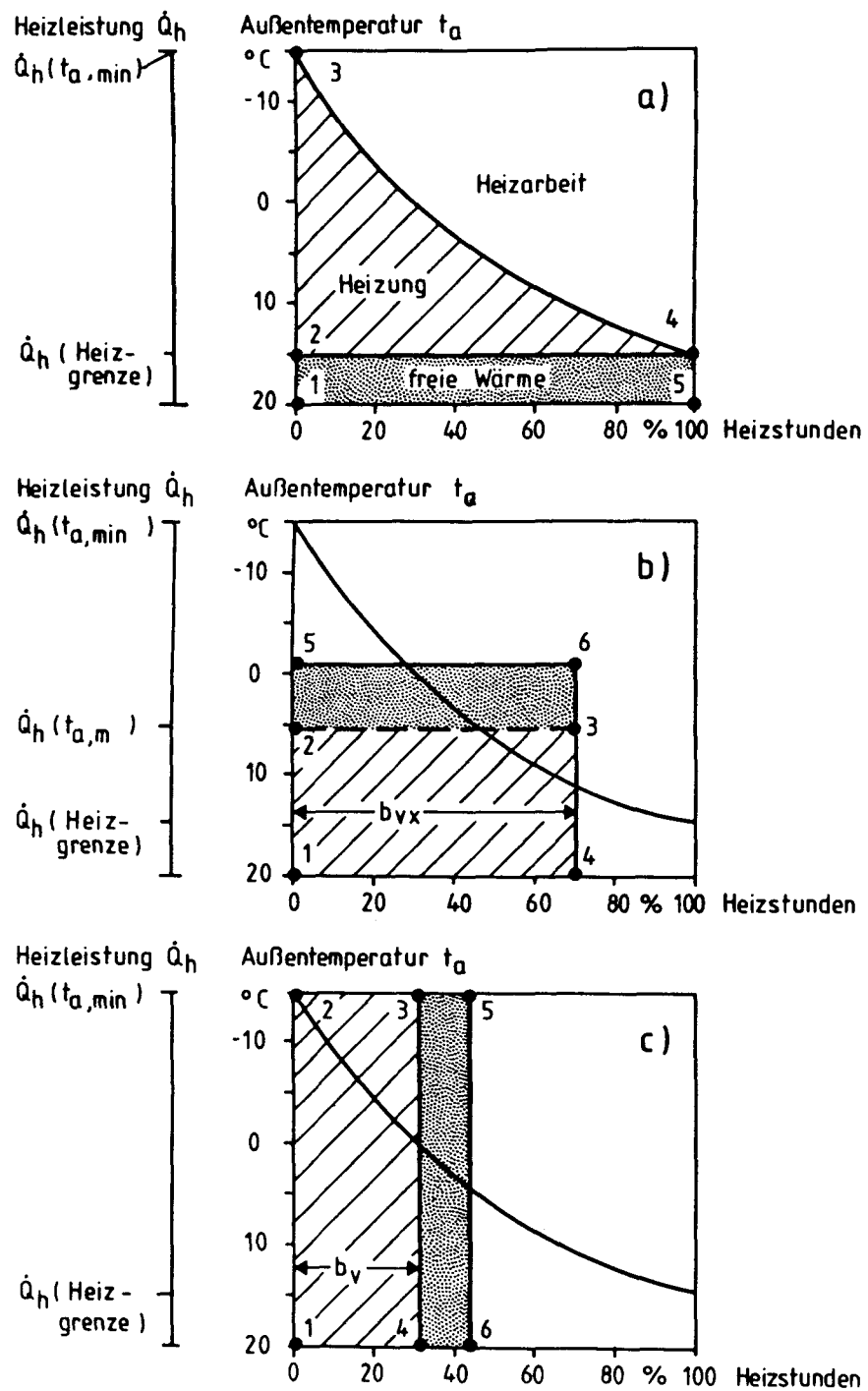


Bild 4.19: Jahreswärmeverbrauch einer Heizungsanlage  
a) Heizarbeit bei beliebiger Außentemperatur  
b) Heizarbeit bezogen auf mittlere Jahres-Außentemperaturen  
c) Heizarbeit bezogen auf Auslegungstemperatur (DIN 4701)

Bereich 2-3-4 gekennzeichnet. Die Differenz zwischen Bruttowärmeverbrauch und Nettowärmeverbrauch wird durch freie Wärme aus der Sonneneinstrahlung und interne Lasten gedeckt /4.94/.

Der Wärmeverbrauch eines beliebigen Tages ergibt sich zu /4.95/:

$$\dot{Q}_d = \dot{Q}_h \cdot 24 \cdot \left( \frac{t_{im} - t_a}{t_i - t_{a,min}} \right) \cdot f \quad \text{Gl. 4.14}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_d &= \text{Tageswärmeverbrauch} \\ \dot{Q}_h &= \text{Wärmebedarf nach DIN 4701} \\ t_{im} &= \text{mittlere Gebäudetemperatur} \\ t_a &= \text{mittlere Tagestemperatur} \\ t_i &= \text{Raumtemperatur} \\ t_{a,min} &= \text{Auslegungstemperatur} \\ f &= \text{Korrekturfaktor} \end{aligned}$$

Der Korrekturfaktor  $f$  erfaßt Abweichungen vom theoretischen Wärmebedarf. Eine exakte Vorgehensweise würde voraussetzen, entsprechend dem täglichen Wärmeverbrauch und den jeweiligen Häufigkeiten auf das Jahr hochzurechnen. In der VDI 2067 wurde eine Vereinfachung vorgenommen, indem von der Jahresmitteltemperatur der Außenluft eines Ortes ausgegangen wird.

Damit wird der Jahreswärmeverbrauch (Heizperiode) /4.96/:

$$Q_H = \dot{Q}_h \cdot 24 \cdot \left( \frac{t_{im} - t_Z}{t_i - t_{a,min}} \right) \cdot f \cdot Z_Z \quad \text{Gl. 4.15}$$

$$\begin{aligned} t_Z &= \text{mittlere Temperatur in der Heizperiode} \\ Z_Z &= \text{Zahl der Heiztage} \end{aligned}$$

Infolge dieser pauschalen Betrachtungsweise ist es nicht möglich, die den Wärmebedarf bestimmenden Größen einflußgemäß zuzuordnen. Tab. 4.7 gibt eine Aufstellung der Korrekturfaktoren, die den Gesamtfaktor  $f$  in Gl. 4.14 beeinflussen. Eine aufwandsgerechte Zuordnung der in Kapitel 3 genannten Einflußfaktoren wäre nur über eine Simulation aller Einflußgrößen im Jahresverlauf möglich.



$b_{VHZ} = f \cdot 24 \cdot z \cdot \frac{t_{im} - t_z}{t_i - t_{amin}} \quad 1)$		
mit $f = f_0 \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot f_6 \cdot f_7 \cdot f_8 \cdot f_9$		
Korrekturfaktoren zur Berücksichtigung aller baulichen und betrieblichen Einflüsse auf den Jahreswärmebedarf		
$f_i$	Erläuterung	Wertebereich
$f_0$	Korrekturfaktor für die jeweilige Fassung der Wärmebedarfsberechnung (44/47, 59) nach DIN 4701	0,95...1,0
$f_1$	Ausgleichsfaktor: pauschale Berücksichtigung des Wärmeeinfall durch Sonneneinstrahlung und innere Wärmequellen	konstant (!) 0,75
$f_2$	Gleichzeitigkeit des Lüftungswärmebedarfs $\dot{Q}_L$ nach DIN 4701	0,85...0,90
$f_3$	Einfluß einer erhöhten Anheizleistung für Raumheizgeräte	0,85...1,00
$f_4$	Einfluß einer Teilbeheizung	0,90...0,95
$f_5$	Abweichung der gefahrenen Raumtemperatur	0,80...1,20
$f_6$	Einfluß des flächenbezogenen Wärmebedarfs	0,90...1,00
$f_7$	Regelbarkeit, Ausstattung mit Meß- und Regelgeräten	0,87...1,20
$f_8$	Einfluß der Abrechnungsart	0,95...1,10
$f_9$	Kurzzeitfaktor	0,70...0,98
1) $z$ : Heiztage in der Heizzeit $t_{im}$ : mittlere Gebäudetemperatur $t_z$ : mittlere Außenlufttemperatur in der Heizzeit $t_i$ : mittlere Gebäudetemperatur, Sollwert nach DIN 4701 $t_{amin}$ : tiefste rechnerische Außentemperatur (Norm-Außentemperatur DIN 4701)		

Tab. 4.7: Korrekturfaktoren zur Errechnung der Vollbenutzungsstunden nach VDI 2067, Ausgabe 1985 /4.98/

Bezieht man die Jahresheizarbeit auf die Heizleistung zum Tage der mittleren jährlichen Außentemperatur, so erhält man das in Bild 4.19 (mittlere Grafik) eingezeichnete Viereck 1-2-3-4. Die der mittleren Heizleistung entsprechenden Heizstunden sind hier mit  $b_{vx}$  bezeichnet, sie liegen etwa im Bereich von 70 % der jährlichen Heizstunden. Von dieser Darstellungsart wird jedoch weniger Gebrauch gemacht. Um den Bezug zur Auslegungsleistung zu behalten, wird Gl. 4.14 folgendermaßen interpretiert:

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_h \cdot b_V \quad \text{Gl. 4.16}$$

$$b_V = \text{Vollbenutzungsstunden}$$

Unter  $b_V$  werden die restlichen Faktoren der Gl. 4.14 subsumiert. Durch die Einführung des Begriffes der Vollbenutzungsstunden ist es möglich, den Wärmeverbrauch einer Heizanlage in Abhängigkeit der Auslegungsleistung darzustellen (vgl. Bild 4.19 - untere Grafik).

Nach VDI 2067 gibt es zwei Verfahren, den Energieverbrauch gemäß den dargestellten Zusammenhängen zu ermitteln (s. Bild 4.20):

- a) detailliertes Verfahren
- b) Kurzverfahren.

Der Detaillierungsgrad beider Verfahren bezieht sich sowohl auf die Energieverbrauchsberechnung als auch auf die Erfassung der Kosten. Bei der Ermittlung der Energieverbräuche ist die Trennung weniger scharf, da Überschneidungen möglich sind, während die Ermittlung der Kosten vom Aufwand her eine deutliche Trennlinie zieht.

Zum Kurzverfahren heißt es in der VDI 2067/Ausgabe 1974 /4.97/:

"Die Kurzfassung erfordert vom Bearbeiter zwar weniger Zeit und Aufwand, aber ein höheres Maß an Fachkenntnissen und Erfahrungen als die ausführliche Berechnung. Häufig dient das Ergebnis der Kurzfassung im Rahmen des Kostenvorschlages (Nutzen, Kostenrechnung) bereits als Grundlage für die Entscheidung über die zur Verwendung kommenden Systeme und die Brennstoff- bzw. Energiearten".

Für die Praxis des Planers kann nach ausreichenden Erfahrungen stets der Übergang zum Kurzverfahren vorausgesetzt werden. Die weiteren Ausführungen beziehen sich somit fast ausschließlich (Ausnahme Nutzungsgradbestimmung) auf dieses Verfahren, die späteren Berechnungen werden ausschließlich mit dem Kurzverfahren durchgeführt.

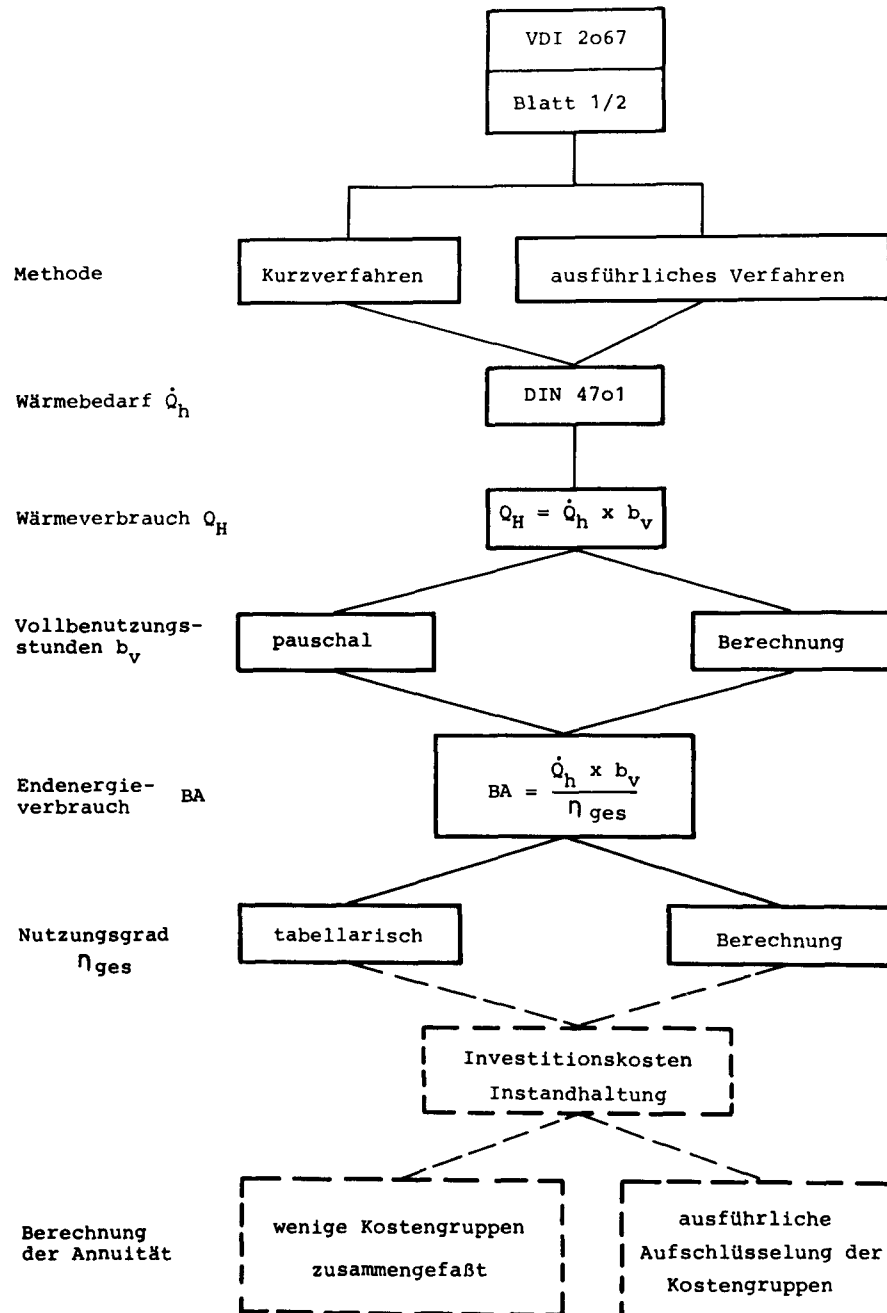


Bild 4.20: Aufbau der Richtlinie VDI 2067 "Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen"

#### 4.2.2.1.2 Energieverbrauch

Nach Bild 4.20 ergab sich der Energieverbrauch einer Heizungsanlage zu

$$B_A = \frac{\dot{Q}_h \cdot b_v}{\eta_{\text{ges}}} \quad \text{Gl. 4.17}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_h &= \text{Wärmebedarf nach DIN 4701} \\ b_v &= \text{Vollbenutzungsstunden} \\ \eta_{\text{ges}} &= \text{Gesamtnutzungsgrad} \end{aligned}$$

$$\text{Mit } \eta_{\text{ges}} = \eta_a \cdot \eta_v \quad \text{Gl. 4.18}$$

$$\begin{aligned} \eta_a &= \text{Anlagennutzungsgrad} \\ \eta_v &= \text{Verteilungsnutzungsgrad} \end{aligned}$$

Der Anlagennutzungsgrad  $\eta_a$  kann pauschal über Tabellenwerte bestimmt werden, bzw. errechnet werden über

$$\eta_a = \frac{\eta_K}{\left( \frac{b_a}{b_v} - 1 \right) \cdot q_B + 1} \quad \text{Gl. 4.19}$$

$$\begin{aligned} \eta_K &= \text{Kesselwirkungsgrad (nach Tabelle oder Herstellerangaben)} \\ b_v &= \text{Vollbenutzungsstunden} \\ q_B &= \text{Betriebsbereitschaftsverluste (nach Tabelle oder Herstellerangaben)} \\ b_a &= \text{Betriebsbereitschaftszeit} \end{aligned}$$

Die Betriebsbereitschaftszeit  $b_a$  ergibt sich bei ganzjährigem Betrieb zu 8760 h/a bzw. für die Heizzeit

$$\begin{aligned} b_a &= Z_Z \cdot 24 \\ Z_Z &= \text{Heiztage} \end{aligned} \quad \text{Gl. 4.20}$$

Die Nutzungsgradberechnung berücksichtigt also die eingangs genannten Einflußfaktoren. Sie bezieht sich allerdings auf einen durchschnittlichen Jahresnutzungsgrad, begründet durch das auf die durchschnittliche jährliche Außentemperatur reduzierte Verfahren.

Die Berechnung geht von der Annahme aus, daß der Wärmeerzeuger mit Ein-Aus-Regelung bei konstanter Kesseltemperatur von  $80^{\circ}\text{C}$  betrieben wird. Der Ansatz wird jedoch auch auf Kessel mit gleichender Kesseltemperatur übertragen, wird dem Niedertemperaturprinzip somit nur teilweise gerecht (Abgasverluste, Abstrahlungsverluste) /4.98/.

#### 4.2.2.1.2.1 Eingabewerte für Vollbenutzungsstunden

##### a) Zentralheizungen

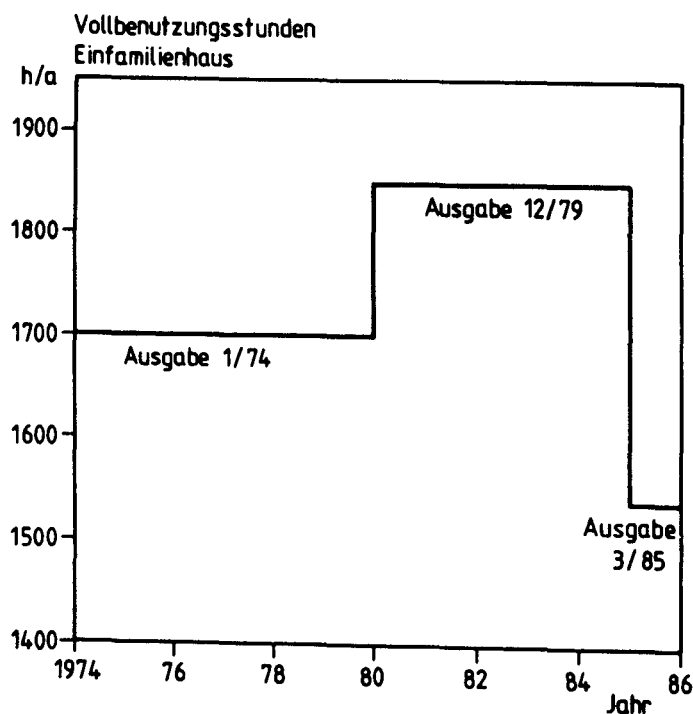


Bild 4.21: Vollbenutzungsstunden für Einfamilienhäuser nach VDI 2067 im zeitlichen Verlauf

Bild 4.21 zeigt den zeitlichen Verlauf der Vollbenutzungsstunden für Zentralheizungen in Einfamilienhäusern nach VDI 2067. Diese Werte gelten für Düsseldorf, das Basis der tabellarischen Angabe der Vollbenutzungsstunden nach dem Kurzverfahren der VDI 2067 ist. Für wenige ausgewählte Städte können ab Ausgabe 1979 Korrekturfaktoren angesetzt werden. Für andere Städte muß die Abweichung der veränderten klimatischen Bedingungen nach den Gradtagtabellen der VDI 2067, Blatt 1 abgeschätzt werden. Das Kurzverfahren wurde erstmals 1974 eingeführt. Für die beiden Jahre 1972 und 1973 wird dieses Verfahren rückwirkend eingesetzt. Das Versorgungsgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes liegt bis auf den Großraum Osnabrück fast ausschließlich in der Klimazone 1 nach DIN 4701 (s. Bild 3.1), daher wird den Basisrechnungen diese Zone zugrunde gelegt. Die Abweichungen für den Großraum Osnabrück werden in späteren Rechnungen durch eine Sensitivitätsanalyse aufgezeigt. Nach der Gradtagtabelle der Ausgabe 1974 der VDI 2067 (Blatt 1) beträgt der Gradtagesunterschied zwischen Düsseldorf und Osnabrück etwa 16 %. Damit ergeben sich für den Zeitraum 1972 - 1984 folgende Eingabewerte für Vollbenutzungsstunden in Einfamilienhäusern (s. Tab. 4.8):

Zeitraum	Vollbenutzungsstunden h/a	
	Basiswert	Variante
1972 - 1979	1700	1972
1980 - 1984	1850	2146

Tab. 4.8: Vollbenutzungsstunden für Zentralheizungen in Einfamilienhäusern nach VDI 2067

b) Nachtspeicher-Einzelöfen

Nachtspeicher-Einzelöfen werden in der VDI 2067 unter Einzelraum geregelten Stockwerksheizungen erfaßt. Ausgewiesen werden Vollbenutzungsstunden nur für Stockwerksheizungen in Mehrfami-

liehnhäusern. Da Stockwerksheizungen vom Energieverbrauch niedriger liegen als Zentralheizungen, werden sie in der VDI 2067 entsprechend Bild 4.22 um einen Differenzbetrag niedriger angesetzt. Diese Differenz liegt im genannten Betrachtungszeitraum (1972 - 1979) bei 200 h/a. Darüber hinaus sind punktiert Vollbenutzungsstundendifferenzen für Einfamilienhäuser aus verschiedenen Heizkostenvergleichen genannt. Die Differenzen bewegen sich im Bereich von 0 - 200 h/a. Um den Praxisbedingungen in Einfamilienhäusern gerecht zu werden, wird für spätere Rechnungen eine verringerte Vollbenutzungsstundenzahl von 100 h/a angesetzt. Zusätzlich wird die Abweichung um  $\pm 100$  h/a bezogen auf diesen Basiswert ermittelt.

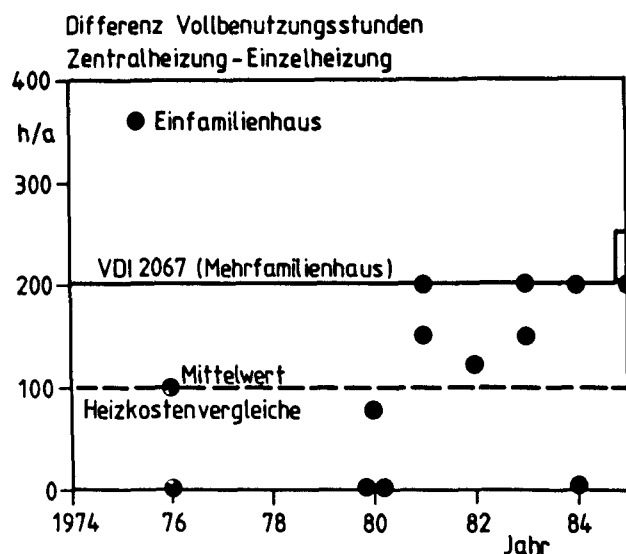


Bild 4.22: Differenz der Vollbenutzungsstunden zwischen Zentralheizung und Einzelheizung  
/4.106-4.109, 4.111-4.115/

#### 4.2.2.1.2.2 Eingabewerte für Nutzungsgrade

Bei Anwendung der tabellarischen Werte des Kurzverfahrens gelten die in Bild 4.23 dargestellten Werte. Die Verbesserung der Nutzungsgrade neuer Kessel wird erst in der VDI 2067 (Ausgabe

Dezember 1983) berücksichtigt, während seit 1977 die neue Kesselgeneration in den Markt eingeführt wurde /4.116/. Die Verbesserungen konventioneller Heiztechnik werden in Abweichung zur VDI 2067 bereits ab 1980 berücksichtigt.

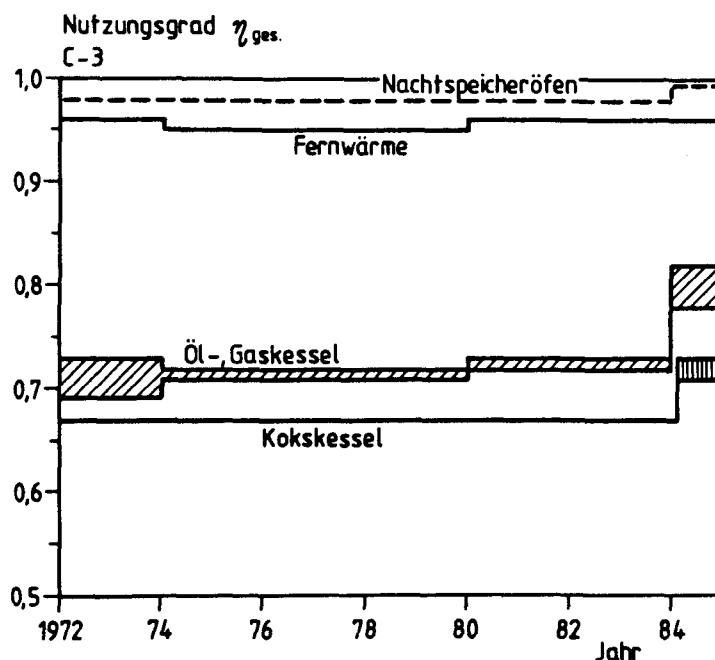


Bild 4.23: Nutzungsgrade konventioneller Heizsysteme nach VDI 2067 /4.56-4.57, 4.99-4.103/

Im Vorgriff auf die VDI 2067 des Jahres 1983 werden deren Werte bereits ab 1980 als obere Variante einbezogen (aus Prüfstandstests werden noch wesentlich höhere Werte genannt /4.82/). Als untere Variante werden die gültigen Werte nach VDI 2067 beibehalten (s. Tab. 4.9).

Zeitraum	Nutzungsgrad									
	Ölkessel		Gaskessel		Fernwärme		Speicheröfen		Koksessel	
	u.W.	o.W.	u.W.	o.W.	u.W.	o.W.	u.W.	o.W.	u.W.	o.W.
1972-1979	0,72	0,72	0,73	0,73	0,96		0,98		0,67	0,67
1980-1983	0,72	0,80	0,73	0,82	0,96		0,98		0,67	0,73
1984	0,78	0,80	0,79	0,82	0,96		1,0		0,71	0,73

Tab. 4.9: Anlagennutzungsgrade  $\eta_{ges.}$  (incl. Verteilung) für konventionelle Heizsysteme  
(u.W. = unterer Wert, o.W. = oberer Wert)



#### 4.2.2.2 Berechnung von Wärmepumpen

Die Berechnung des Wärmeverbrauchs erfolgt wie bei konventionellen Zentralheizungsanlagen, es gelten somit auch hier die Werte für Vollbenutzungsstunden nach Tabelle 4.8.

Bei der Berechnung von Energieverbräuchen für Wärmepumpen war die Unsicherheit des Planers über anzusetzende Arbeitszahlen bzw. Deckungsbeiträge (bivalenter Wärmepumpen) nicht unerheblich, da die angekündigte Ergänzung "Wärmepumpen" zur VDI 2067 bis heute nicht vorliegt.

1981 erschien von der Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung e. V. (HEA) ein Leitfaden in Anlehnung an die Richtlinie VDI 2067 zur Berechnung von Wärmepumpen /4.117/. Bis dahin jedoch war der Planer bzw. Verbraucher auf Information aus Fachveröffentlichungen bzw. von Herstellern angewiesen (vgl. /4.110, 4.118-4.126/). Nach HEA wird folgender Ansatz zur Berechnung des Energieverbrauchs gewählt:

$$W_A = W_{Wp} + W_K + W_H \quad \text{Gl. 4.21}$$

$W_A$  = Jahresenergieverbrauch der Anlage  
 $W_{Wp}$  = Energieverbrauch Wärmepumpe  
 $W_K$  = Energieverbrauch Zusatzheizung (Kessel)  
 $W_H$  = Energieverbrauch Hilfsantriebe

Bei monovalenter Betriebsweise entfällt  $W_K$ . Es gilt dann

$$W_A = \frac{\dot{Q}_h \cdot b_v}{\beta_{Wp}} + W_H \quad \text{Gl. 4.22}$$

$\dot{Q}_h$  = Wärmebedarf DIN 4701  
 $b_v$  = Vollbenutzungsstunden  
 $\beta_{Wp}$  = Arbeitszahl Wärmepumpe

In der Praxis wird häufig nicht nach dem Energieverbrauch zwischen Wärmepumpe und Hilfsantrieben unterschieden, sondern mit einer Arbeitszahl für die Wärmepumpenanlage gerechnet (vgl. /4.106, 4.109/):

$$W_A = \frac{\dot{Q}_h \cdot b_v}{\beta_{ges}} \quad \text{Gl. 4.23}$$

$\beta_{ges}$  = Arbeitszahl der Wärmepumpenanlage

Bei bivalenter Betriebsweise mit Einsatz eines konventionellen Kessels gilt:

$$W_A = \dot{Q}_h \cdot b_v \cdot \left[ \frac{DA}{\beta_{ges}} + \left( \frac{1 - DA}{\eta_{ges}} \right) \right] \quad \text{Gl. 4.24}$$

DA = Deckungsanteil der Wärmepumpe am Wärmeverbrauch

$\eta_{ges}$  = Anlagennutzungsgrad des Kessels incl. Verteilung

Wenn zur Überbrückung der Sperrzeiten Speicher eingesetzt werden, so wird ein Speichernutzungsgrad in  $\beta_{ges}$  bzw.  $\eta_{ges}$  berücksichtigt. Die Dimensionierung nach HEA erfolgt ohne Aufschlagfaktor, wenn Sperrzeiten einkalkuliert werden müssen.

Für monovalente Grund-Wasser-Wärmepumpen werden mittlere Leistungszahlen je nach Vorlauftemperatur pauschal angegeben, während bei Außenluft-Wärmepumpen die Arbeitszahl aus den Häufigkeiten der Außentemperaturen in 5 °C-Schritten ermittelt wird.

Der Deckungsanteil bei bivalenter Nutzung wird nach Klimazone bzw. Umschaltpunkten tabellarisch angegeben (s. Tab. 4.10). Mit dem Umschaltbereich von +5 °C bis -3 °C wäre zugleich der nach HEA empfehlenswerte Bereich aufgezeigt. Zu ähnlichen Werten kommt eine andere Untersuchung aus dem Jahre 1982 (s. Bild 4.24).

Diese Werte liegen etwas höher als in Kap. 3 (vgl. Bild 3.2) aufgezeigt wurde, beruhen jedoch teilweise auf Messungen. In Firmenbroschüren wurde unabhängig von Klimazonen und Vorlauftemperaturen bzw. Umschaltpunkten ein Deckungsanteil von etwa

65 - 70 % angegeben /4.128/. Für Rechnungen wird einmal dieser Pauschalwert angesetzt, zum anderen die in Bild 4.24 dargestellten Deckungsbeiträge in Abhängigkeit der jeweiligen Einsatzbedingungen. Für die Klimazone I wird dadurch ein Bereich von 60 - 70 % überdeckt. Als Basiswert wird 65 % gewählt.

Umschalt- punkt °C	alternativ Klimazone			parallel Klimazone		
	1	2	3	1	2	3
+5	52	42	33	85	80	72
+3	64	54	41	91	85	80
+1	77	69	53	95	92	85
-1	89	78	64	98	95	92
-3	92	87	76	99	98	95

Tab. 4.10: Deckungsanteile bivalenter Außenluft-Elektrowärmepumpen /4.117/

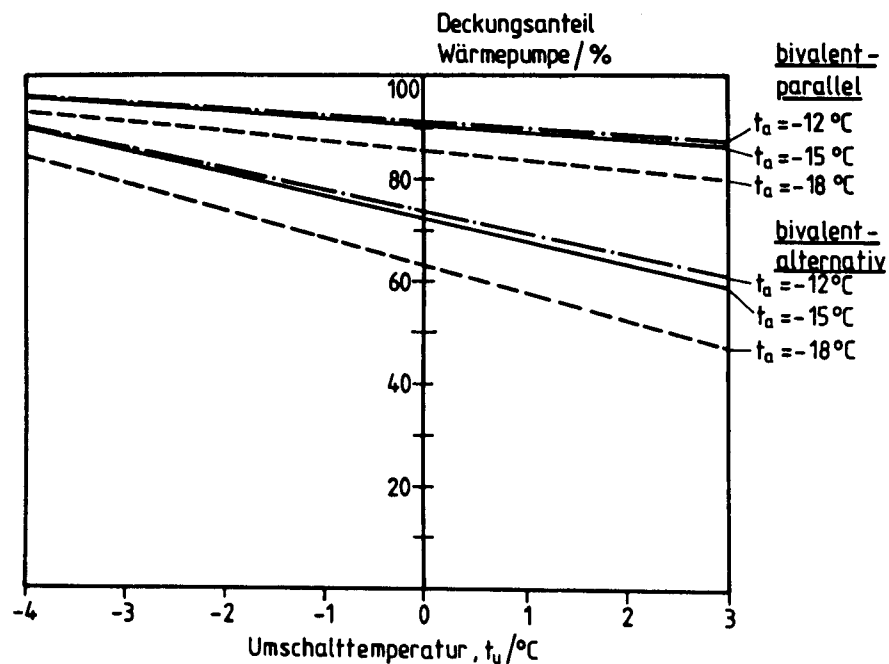


Bild 4.24: Deckungsanteile bivalenter Außenluft-Elektrowärmepumpen /4.127/

Schwieriger gestaltet sich die Eingabe von Arbeitszahlen, da in Planungsunterlagen von Herstellern zumeist nur Leistungszahlen im Auslegungspunkt genannt werden, in keiner Unterlage jedoch die Jahresarbeitszahl ausgewiesen wird, lediglich in Fachveröffentlichungen werden Arbeitszahlen genannt (s. Bild 4.25) /4.127 - 4.137/.

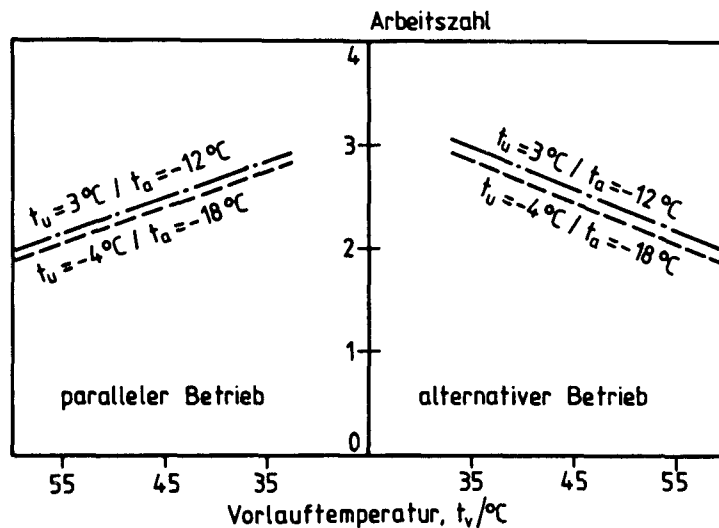


Bild 4.25: Arbeitszahlen von bivalenten Außenluft-Elektrowärmepumpen /4.127/

Aber auch bei der Analyse des Fachschrifttums bleibt noch häufig unklar, ob es sich um die Arbeitszahl der Wärmepumpe oder der Wärmepumpenanlage incl. Hilfsantriebe handelt.

In den Bildern 4.26 und 4.27 ist das Spektrum von Arbeits- und Leistungszahlen aus verschiedenen Publikationen dargestellt. Die Anlagenarbeitszahlen incl. Hilfsenergie sind durch Kreuze dargestellt, während die Punkte Leistungszahlen bzw. Arbeitszahlen der Wärmepumpe ohne Hilfsaggregate symbolisieren. Für die Berechnungen werden die oberen und unteren Werte angesetzt. In Wirtschaftlichkeitsrechnungen der Hersteller dürften die oberen Werte dominieren, erst in jüngster Zeit ist klar geworden, daß sich bei Einbeziehung aller Hilfsenergie weitaus weniger optimistische Arbeitszahlen ergeben, als im Schrifttum genannt werden. So lagen die tatsächlich gemessenen Arbeitszahlen für bivalente Außenluft-Elektro-Wärmepumpen im Bereich von 1.87 bis 2.62 /4.31, 4.109, 4.138/.

Damit wird ein Tatbestand angesprochen, der auch für konventionelle Anlagen gilt, wenn auch nicht in derart gravierender Form. Die den Rechnungen zugrundegelegten Nutzungsgrade bzw. Arbeitszahlen weichen in der Praxis erheblich von den unterstellten Annahmen ab. Für die Entscheidung bei der Auswahl ist jedoch die angenommene Effizienz einer Anlage maßgeblich, nicht die tatsächliche.

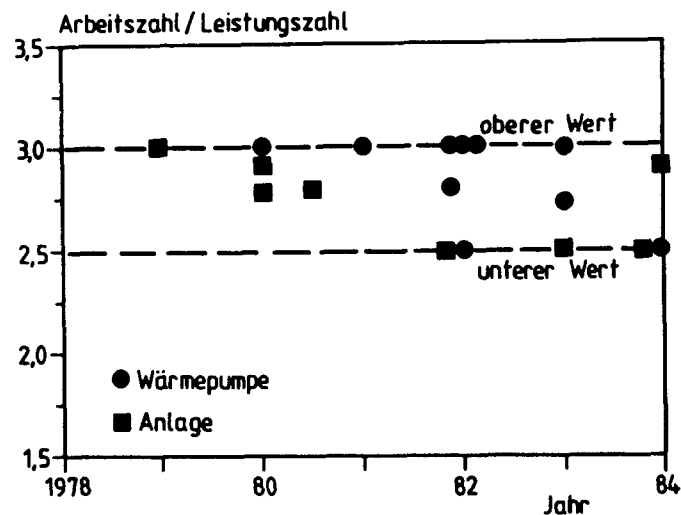


Bild 4.26: Arbeitszahlen und Leistungszahlen für bivalent-alternative Elektrowärmepumpen aus verschiedenen Publikationen /4.106, 4.109, 4.130 - 4.137/  
Anmerkung: keine einheitliche Bezugsbasis

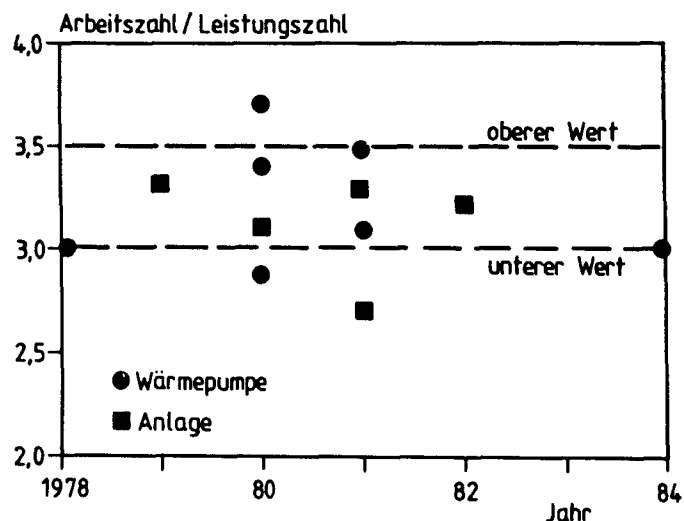


Bild 4.27: Arbeitszahlen und Leistungszahlen für monovalente Grundwasser-Elektrowärmepumpen aus verschiedenen Publikationen /4.106, 4.109, 4.130 - 4.137/  
Anmerkung: keine einheitliche Bezugsbasis

#### 4.2.3 Ergebnisse für ausgewählte Heizsysteme

In Tabelle 4.11 ist eine Übersicht der untersuchten Heizsysteme wiedergegeben. Bei den konventionellen Systemen mit Kohle-, Gas- und Ölfeuerung wurde für die Auswahl der Wärmeverteilung ein Kompromiß unterstellt. Zum einen ist nicht bekannt, wie strikt die Planer Niedertemperaturkessel mit Niedertemperaturverteilung in Einklang gebracht haben, zum anderen läßt die VDI 2067 für neue Kessel mit gleitender Kesseltemperatur von der energetischen Seite gegenüber neuen Kesseln mit konstanter Kesseltemperatur kaum Spielraum. Würde man dem gleitenden Kessel eine Niedertemperaturverteilung zuordnen, so ergäbe dies einen nicht unerheblichen Kostenmehraufwand bei minimaler Nutzungsgradverbesserung bei Anwendung der Tabellenwerte (vgl. auch /4.98/).

Die ausgewählte bivalente Außenluft-Elektrowärmepumpe wird ab  $+3^{\circ}\text{C}$  eingeschaltet, sie speist dann in ein Warmwasserverteilungsnetz mit höchstens  $45^{\circ}\text{C}$ -Vorlauftemperatur. Das Netz ist selbst auf  $70^{\circ}\text{C}$ -Vorlauftemperatur ausgelegt. Den Bereich von  $45^{\circ}\text{C}$  bis  $70^{\circ}\text{C}$  übernimmt ein Ölkessel.

Die monovalente Grundwasser-Elektrowärmepumpe nutzt die energetischen Vorteile einer Niedertemperaturverteilung, die maximal mit  $45^{\circ}\text{C}$  im Vorlauf belastet wird.

In der Tab. 4.12 sind zunächst die Wärmeverbrauchswerte der drei ausgewählten Haustypen für die Klimazone 1 aufgeführt.

Die Verbräuche für die konventionellen Systeme sind in den Tab. 4.13 - 4.15 und für die Wärmepumpen in den Tab. 4.16 - 4.19 wiedergegeben. Alle Rechenwerte gelten für die Klimazone 1.

Die Bilder 4.28 und 4.29 geben in einer Teilauswertung der genannten Tabellen einen Überblick über die nach VDI 2067 rechnerisch ermittelten Energieverbräuche. Bild 4.28 vermittelt die Abnahme der auf die Wohnfläche bezogenen Energieverbräuche ( $\text{kWh/m}^2\text{a}$ ) im Verlauf der sich verändernden Wärmeschutzanforde-

Lfd. Nr.	Heizsystem		Anmerkung
	Wärmeerzeuger	Wärmeverteilung	
1	Ölkessel	90 / 70 °C - Warmwasser - verteilung (Radiatoren)	Kesseltemperatur konstant bzw. gleitend
2	Gaskessel mit atmosph. Brenner		
3	Koksessel		
4	Fernwärme		direkter Anschluß
5	Nachtstrom- speicheröfen		ohne Nachladung
6	Bivalent - alternative Luft - Wasser - Elektrowärmepumpe mit Ölzusatzkessel	70 / 60 °C - Warmwasser - verteilung (Radiatoren)	Kesseltemperatur konstant bzw. gleitend  Bivalenzpunkt: 3°C
7	Monovalente Grundwasser - Wasser - Elektrowärmepumpe	45 / 40 °C - Warmwasser - verteilung (Radiatoren)	mit Speicher

Tab. 4.11: Für Heizkostenvergleich ausgewählte Systeme

rungen und Rechenverfahren. Im ganzen Betrachtungszeitraum wird dabei ein Spektrum von  $400 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  (Kokskessel - 1972/77) bis etwa  $30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  (monovalente Grundwasser-Elektrowärmepumpe-1984) überstrichen.

Bild 4.29 zeigt, welche Einsatzbedingungen sich dadurch im Laufe des Betrachtungszeitraumes für bivalente AußenluftElektrowärmepumpen ergeben haben. Dargestellt sind für den jeweiligen Haustyp die unter optimistischen Bedingungen (obere Linie) und unter pessimistischen Bedingungen (untere Linie) substituierbaren Ölmengen. Im ganzen Betrachtungszeitraum ist das Substitutionspotential um den Faktor 2,5 bis 2 zurückgegangen. Für die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpen ist diese Tatsache von nicht unerheblicher Bedeutung.



				DIN 4108/69	W Sch V 77		W Sch V 82		NORM
				DIN 4701/59		DIN 4701/83			
				VDI 2067/74		VDI 2067/79			
				1972-1977	1978-1979	1980-1982	1983	1984	Zeit
				1700	1700	1850	1850	1850	SH
				1600	1600	1750	1750	1750	EH
Reihenhaus 100 m <sup>2</sup>	Heizleistg.	$\dot{Q}_h$	kW	12,2 / 9,6 <sup>1)</sup>	8,7	8,7	6,2	5,1	
	Wärmeverbrauch	$Q_A$	kWh/a	20740	14790	16095	11470	9435	SH
Einfam.haus 140 m <sup>2</sup>	Heizleistg.	$\dot{Q}_h$	kW	15360	13920	15225	10850	8925	EH
	Wärmeverbrauch	$Q_A$	kWh/a	20,6 / 14,6 <sup>1)</sup>	13,7	13,7	9,0	7,4	
Zweifam.haus 190 m <sup>2</sup>	Heizleistg.	$\dot{Q}_h$	kW	35020	23920	25345	16650	13690	SH
	Wärmeverbrauch	$Q_A$	kWh/a	23360	21920	23975	15750	12950	EH
	Heizleistg.	$\dot{Q}_h$	kW	29,5 / 19,8 <sup>1)</sup>	18,3	18,3	13,0	9,9	
	Wärmeverbrauch	$Q_A$	kWh/a	50150	31110	33855	24050	18315	SH
				31680	29280	32025	22750	17325	EH

Tab. 4.12: Wärmeverbrauchswerte der ausgewählten Haustypen für die Klimazone 1

Legende:

(Tab. 4.12-4.15)

RH - Reihenhaus

EFH - freistehendes Einfamilienhaus

ZFH - freistehendes Zweifamilienhaus

SH - Sammelheizung

EH - Einzelheizung

Q<sub>h</sub> - Wärmebedarf DIN 4701

b<sub>v</sub> - Vollbenutzungsstunden

η<sub>ges</sub> - Anlagennutzungsgrad

1) - Erhöhter Wärmeschutz bei Nachtspeicherheizung

			ZEITRAUM				
			1972-1977	1978-1979	1980-1982	1983	1984
Wärme- verbrauch	Sammelheiz.	kWh/a	20740	14790	16095	11470	9435
	Einzelheizung		15360	13920	15525	10850	8925
Ölkessel	Nutzungs- grad		0.72	0.72	0.72	0.72	0.78
					0.80	0.80	0.80
	Endenergie	kWh/a	28805	20541	22354	15930	12096
					20118	14337	11794
Gaskessel	Nutzungs- grad		0.73	0.73	0.73	0.73	0.79
					0.82	0.82	0.82
	Endenergie	kWh/a	28410	20260	22047	15712	11943
					19628	13987	11506
Koksessel	Nutzungs- grad		0.67	0.67	0.67	0.67	0.71
					0.73	0.73	0.73
	Endenergie	kWh/a	30955	22075	24022	17119	13288
					22047	15712	12924
Fernwärme	Nutzungsgrad		0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
	Endenergie	kWh/a	21604	15406	16765	11948	9828
Speicheröfen	Nutzungsgrad		0.98	0.98	0.98	0.98	1.00
	Endenergie	kWh/a	15673	14204	15841	11071	8925

Tab. 4.13: Endenergieverbräuche im Reihenhaushaus für konventionelle Heizsysteme (Klimazone 1)

			ZEITRAUM				
			1972-1977	1978-1979	1980-1982	1983	1984
Wärme- verbrauch	Sammelheiz.	kWh/a	35020	23920	25345	1650	13960
	Einzelheizung		23360	21920	23975	15750	12950
Ölkessel	Nutzungs- grad		0.72	0.72	0.72	0.72	0.78
					0.80	0.80	0.80
	Endenergie	kWh/a	48638	32347	35201	23125	17897
					31681	20812	17450
Gaskessel	Nutzungs- grad		0.73	0.73	0.73	0.73	0.79
					0.82	0.82	0.82
	Endenergie	kWh/a	47972	31904	34719	22808	17670
					30908	20304	17024
Koksessel	Nutzungs- grad		0.67	0.67	0.67	0.67	0.71
					0.73	0.73	0.73
	Endenergie	kWh/a	52268	34761	37828	24850	19661
					34719	20812	19123
Fernwärme	Nutzungsgrad		0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
	Endenergie	kWh/a	36479	24260	26401	17343	14541
Speicheröfen	Nutzungsgrad		0.98	0.98	0.98	0.98	1.00
	Endenergie	kWh/a	23836	22367	24464	16071	12950

Tab. 4.14: Endenergieverbräuche im freistehenden Einfamilienhaus für konventionelle Heizsysteme (Klimazone 1)

			ZEITRAUM				
			1972-1977	1978-1979	1980-1982	1983	1984
Warme- verbrauch	Sammelheiz	kWh/a	50150	31110	33855	24050	18315
	Einzelheizung		31680	29280	32025	22750	17325
Ölkessel	Nutzungs- grad		0.72	0.72	0.72	0.72	0.78
					0.80	0.80	0.80
	Endenergie	kWh/a	69652	43208	47020	33402	23480
					42318	30062	22893
Gaskessel	Nutzungs- grad		0.73	0.73	0.73	0.73	0.79
					0.82	0.82	0.82
	Endenergie	kWh/a	68648	42616	46376	32945	23183
					41286	29329	22335
Kokskessel	Nutzungs- grad		0.67	0.67	0.67	0.67	0.71
					0.73	0.73	0.73
	Endenergie	kWh/a	74850	46432	50529	35895	25795
					46376	32945	25089
Fernwärme	Nutzungsgrad		0.96	0.96	0.96	0.96	0.96
	Endenergie	kWh/a	52239	32406	35265	25052	19078
Speicheröfen	Nutzungsgrad		0.98	0.98	0.98	0.98	1.00
	Endenergie	kWh/a	32326	29877	32678	23314	17325

Tab. 4.15: Endenergieverbräuche im freistehenden Zweifamilienhaus für konventionelle Heizsysteme (Klimazone 1)

			ZEITRAUM				
			1972-1977	1978-1979	1980-1982	1983	1984
Wärmeverbrauch, Anteil Wärmepumpe	$Q_A$	kWh/a	20740	14790	16095	11740	9435
		%	optimist. Variante: 70 pessim. Variante: 60				
Arbeitszahl, WP	$\beta_{ges}$		optimist. Variante: 3.0 pessim. Variante: 2.5				
Nutzungsgrad Ölkessel	$\eta_{ges}$		0.74	0.74	0.74	0.74	0.80
					0.82	0.82	0.82
Endenergie optimistische Variante	WP	kWh/a	4839	3451	3756	2676	2201
	Öl		8408	5996	5888	4196	3452
	$\Sigma$		13247	9447	9644	6872	5633
Endenergie pessimistische Variante	WP	kWh/a	4977	3550	3863	2753	2264
	Öl		11211	7995	8700	6200	4717
	$\Sigma$		16188	11544	12563	8953	6981

Tab. 4.16: Endenergieverbräuche im Reihenhaushaus für die bivalente Außenluft-Elektrowärmepumpe (WP) mit Ölkessel (Klimazone 1)

$\eta_{ges}$  = Anlagennutzungsgrad;  $\beta_{ges}$  = Anlagenarbeitszahl

			ZEITRAUM				
			1972-1977	1978-1979	1980-1982	1983	1984
Wärmeverbrauch, Anteil Wärmepumpe	$Q_A$	kWh/a	35020	23920	25345	16650	13960
		%	optimist. Variante: 70 pessimist. Variante: 60				
Arbeitszahl, WP	$\beta_{ges}$		optimist. Variante: 3.0 pessimist. Variante: 2.5				
Nutzungsgrad Ölkessel	$\eta_{ges}$		0.74	0.74	0.74	0.74	0.80
					0.82	0.82	0.82
Endenergie optimistische Variante	WP	kWh/a	8171	5434	5913	3885	3257
	Öl		14197	9441	9272	6091	5107
	$\Sigma$		22368	14875	15185	9976	8364
Endenergie pessimistische Variante	WP	kWh/a	8405	5741	6083	3996	3350
	Öl		18930	12930	13700	9000	6980
	$\Sigma$		27335	18671	19783	12996	10330

Tab. 4.17: Endenergieverbräuche im freistehenden Einfamilienhaus für die bivalente Außenluft-Elektrowärmepumpe (WP) mit Ölkessel (Klimazone 1)

			ZEITRAUM				
			1972-1977	1978-1979	1980-1982	1983	1984
Wärmeverbrauch, Anteil Wärmepumpe	$Q_A$	kWh/a	50150	31110	33855	24050	18315
		%	optimist. Variante: 70 pessimist. Variante: 60				
Arbeitszahl, WP	$\beta_{ges}$		optimist. Variante: 3.0 pessimist. Variante: 2.5				
Nutzungsgrad Ölkessel	$\eta_{ges}$		0.74	0.74	0.74	0.74	0.80
					0.82	0.82	0.82
Endenergie optimistische Variante	WP	kWh/a	11702	7259	7899	5612	4273
	Öl		20331	12612	12386	8589	6701
	$\Sigma$		32033	19871	20285	14201	10974
Endenergie pessimistische Variante	WP	kWh/a	12036	7466	8125	5772	4396
	Öl		27108	16816	18300	13000	9157
	$\Sigma$		39144	24282	26245	18772	13553

Tab. 4.18: Endenergieverbräuche im freistehenden Zweifamilienhaus für bivalente Außenluft-Elektrowärmepumpe mit Ölkessel (Klimazone 1)

			ZEITRAUM				
			1972 - 1977	1978-1979	1980-1982	1983	1984
Wärmeverbrauch	RH	kWh/a	20740	14790	16095	11740	9435
	EFH		35020	23290	25345	16650	13690
	ZFH		50150	31110	33855	24050	18315
Arbeitszahl	$\beta_{ges}$		obere Variante: 3.5      untere Variante: 3.0				
Endenergie	RH	kWh/a	5926	4225	4699	3277	2696
			6913	4930	5365	3823	3145
	EFH		10005	6654	7241	4757	3911
			11673	7763	8448	5550	4563
	ZFH		14329	8889	9673	6871	5232
			16716	10370	11285	8017	6105

Tab. 4.19: Endenergieverbräuche der monovalenten Grundwasser-Elektrowärmepumpe für die ausgewählten Haustypen (Klimazone 1)

Legende: RH - Reihenhaus  
EFH - freistehendes Einfamilienhaus  
ZFH - freistehendes Zweifamilienhaus

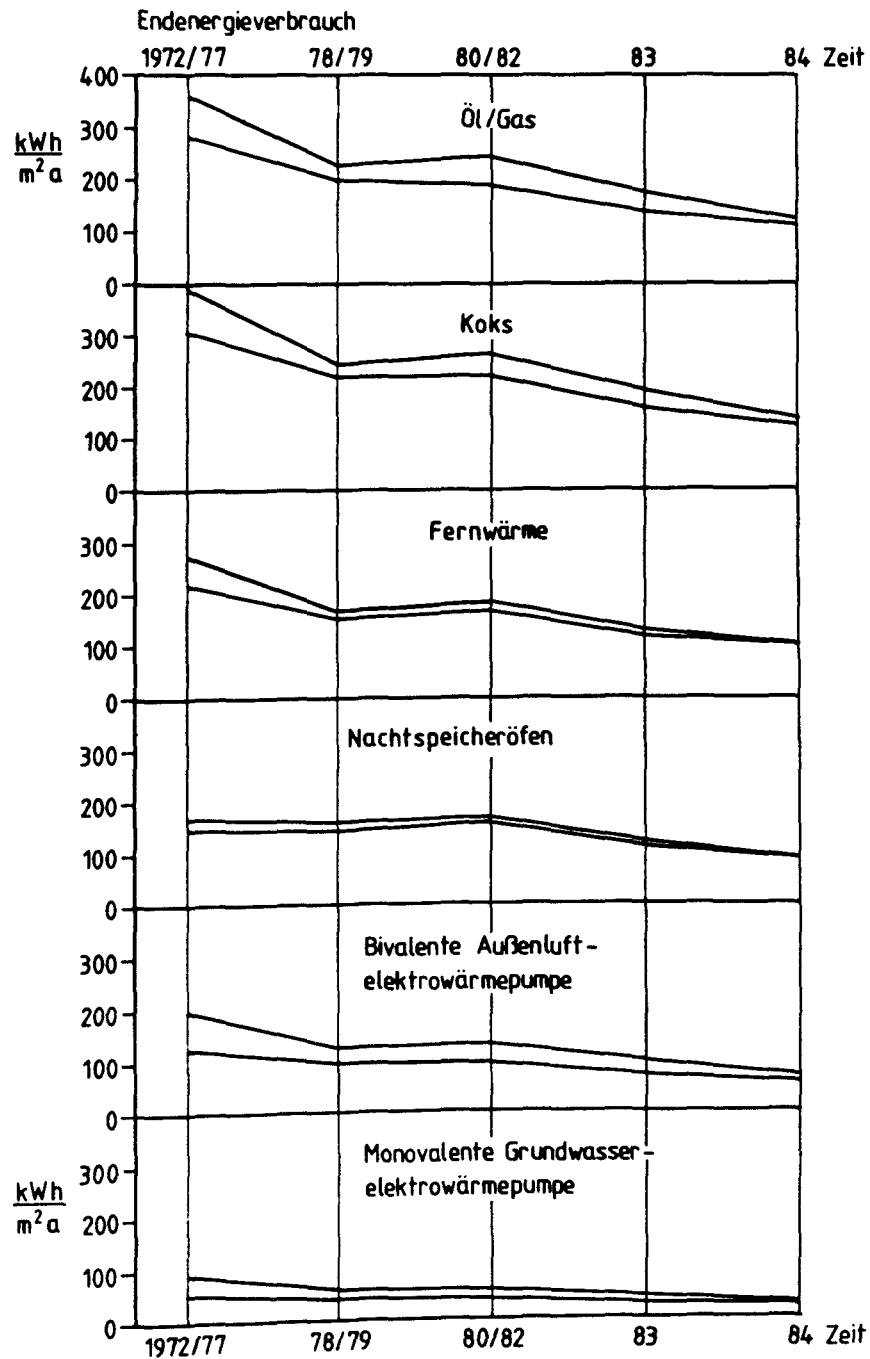


Bild 4.28: Spezifische Energieverbräuche (flächenbezogen) der untersuchten Heizsysteme im Betrachtungszeitraum  
 obere Linie - freistehendes Zweifamilienhaus (190 m<sup>2</sup>)  
 untere Linie - Reihenhaus (100 m<sup>2</sup>)

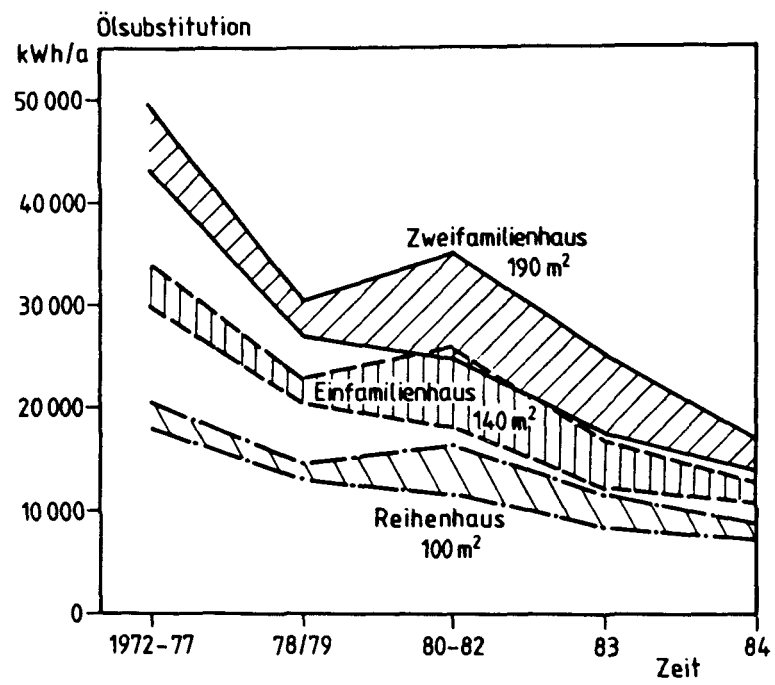


Bild 4.29: Ölsubstitution durch eine bivalente Außenluft-Elektrowärmepumpe

- /4.1/ H. Schäfer,  
Nutzungsgradketten bei der Raumwärme- und  
Warmwasserversorgung - verschiedene Aspekte  
ihrer Bewertung,  
Elektrizitätswirtschaft 85 (1984), H. 11, 5.539
- /4.2/ E. Schmidt,  
Betrachtungen zur qualitativen Beurteilung von  
Heizanlagen im Sinne einer maximalen Energieein-  
sparung,  
HLH 28 (1977), Nr. 11, S. 399
- /4.3/ J. Hüter,  
Die Energie-Nutzungs-Ziffer - die bessere  
Alternative zur Heizungsanlagen-Verordnung,  
Klima-Kälte-Heizung 7 - 8/1980, S. 297
- /4.4/ G. Keller,  
Die Raumnutzungszahl und ihre Konsequenzen  
auf die Raumheizung,  
Klima-Kälte-Heizung 5/1983, S. 219
- /4.5/ G. Claus, H. Bach,  
Ermittlung des Nutzungsgrades von Heizanlagen,  
Forschungsbericht ET 5133 A,  
Stuttgart, 1980
- /4.6/ ohne Verfasser,  
Zwei Aufgaben im Interesse des Anwenders?  
cci, 8/1984, S. 24
- /4.7/ G. Claus, H. Bach,  
Einfluß von Wärmeerzeugung,  
Wärmeverteilung und Regelung auf den Jahres-  
brennstoffverbrauch,  
VDI-Bericht Nr. 464,  
Düsseldorf, 1982, S. 33
- /4.8/ D. Orth,  
Niedertemperatur-Wärmeversorgung unter besonderer  
Berücksichtigung ausgewählter neuer Technologien,  
KFA Jülich GmbH, Jül-Spez-65,  
Jülich, 1979, S. 49
- /4.9/ H. G. Rumpf,  
Physik und Technik der Wärmepumpe  
in: Rheinisch-Westf. Elektrizitätswerk,  
Die Wärmepumpe, Essen, ohne Datum
- /4.10/ H. Schmitz,  
Ist die "Niedertemperatur" nur eine Sache  
der Auslegung?  
Sonderdruck aus HLH 1978, H. 12
- /4.11/ Bundesminister für Wirtschaft,  
Weniger Heizkosten,  
Bonn, 1983, S. 40



- /4.12/ Stat. Bundesamt,  
Bestand und Struktur der Gebäude und Wohnungen,  
Wirtschaft + Statistik, H. 5/1980, S. 283
- /4.13/ F. Wollner, K. Kern,  
Entwicklungstrends in der Wohnraumheizung,  
Bundesbaublatt, 1983, H. 10, S. 622
- /4.14/ A. Schröter,  
Beheizung von Wohnungen,  
Bundesblatt 1980, H. 11, S. 706
- /4.15/ Stat. Bundesamt,  
Statistisches Jahrbuch für die BR Deutschland,  
Wiesbaden, Ausgaben 1983 u. 1984
- /4.16/ Recknagel-Sprenger,  
Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik, 1983/84,  
München/Wien, 1983, S. 471
- /4.17/ W. Brumm,  
Untersuchung über die technischen und wirtschaft-  
lichen Zusammenhänge zwischen Hausanlage und  
Fernwärmenetz,  
FWI 4 (1975), H. 3, S. 88
- /4.18/ W. Kast,  
Ziel und Stand der Normungsarbeiten  
"Fußbodenheizung" DIN 4725 Teil 1 - 4,  
VDI-Bericht Nr. 388,  
Düsseldorf, 1980, S. 29
- /4.19/ Heizungsanlagen-Verordnung (1982),  
BGBl, I, Nr. 7, 1982, S. 205
- /4.20/ Recknagel-Sprenger,  
a.a.O., S. 149
- /4.21/ H. J. Terning,  
Auch im Teillastbereich den Abgas-  
transport sicherstellen,  
cci, 7/1985, S. 22
- /4.22/ A. Hoess,  
Schornsteine für niedrige Abgastemperaturen,  
VDI-Bericht Nr. 486,  
Düsseldorf, 1983, S. 1
- /4.23/ P. Ferling,  
Moderne Heizkessel und Schornsteine,  
Das Schornsteinfegerhandwerk 5/1982, S. 19
- /4.24/ Buderus AG,  
Sparsamkeit, die auch dem Schornstein behagt:  
Ecomatic-Heizkessel,  
Buderus-Information 2/78 (Sonderdruck),  
Wetzlar, 1978

- /4.25/ R. Weiersmüller,  
Der Jahreswirkungsgrad von öl- oder  
gasbefeuelten Heizanlagen,  
Wärmetechnik 10/1983, S. 350
- /4.26/ o. Verfasser,  
Berichte von der 11. ISH in Frankfurt,  
HLH 32 (1981), Nr. 6, S. 236
- /4.27/ Aktionsgemeinschaft Sparsames Heizen,  
Heizungstechnik in der Praxis,  
Kreuzlingen, 1982, S. 15
- /4.28/ o. Verfasser,  
Möglichkeiten und Grenzen der  
Heizkesseltechnik,  
HLH, 36 (1985), Nr. 11, S. 539
- /4.29/ Fördergesellschaft Technischer Ausbau e. V.,  
Wärmepumpen zur Hausheizung,  
Bonn, o. Datum, S. 72
- /4.30/ Rheinisch-Westf. Elektrizitätswerk,  
Wärmepumpen-Installation,  
Essen, 1981, S. 6
- /4.31/ Fördergesellschaft Technischer Ausbau e. V.,  
a.a.O., S. 67
- /4.32/ H. Bach,  
Technischer Ausbau,  
in: Bundesminister für Wirtschaft,  
Praxisinformation Energieeinsparung,  
Bonn, 1983, S. 101
- /4.33/ Recknagel-Sprenger,  
a.a.O., S. 149
- /4.34/ Heizungsanlagen-Verordnung (1982),  
a.a.O., S. 205 u. 207
- /4.35/ Heizungsanlagen-Verordnung (1978),  
BGBl. I, 22.9.1978, S. 1581 u. 1583
- /4.36/ DIN 4702,  
Heizkessel, Ausgabe 1979,  
Berlin, 1979
- /4.37/ Heizungsbetriebs-Verordnung,  
BGBl. I, 1978, S. 1584
- /4.38/ o. Verfasser,  
Heizkessel,  
Wärmetechnik 5/1983, S. 194

- /4.39/ o. Verfasser,  
Modulierende, stufenlos gesteuerte Gas-  
gebläsebrenner und ihre erhöhte Wirtschaft-  
lichkeit,  
Wärmetechnik 8/1983, S. 276
- /4.40/ Ruhrgas AG,  
Energiesparkatalog 83,  
Essen, 1985
- /4.41/ H. Eickenhorst,  
Wärmepumpen,  
Karlsruhe, 1982, S. 11
- /4.42/ Fröling GmbH,  
Planungshinweise,  
Sole/Wasser-Wärmepumpe,  
Blatt-Nr. 148/3017/83  
Overath/Köln, 1983, S. 8
- /4.43/ Fröling GmbH,  
a.a.O., S. 10
- /4.44/ Fördergesellschaft Technischer Ausbau,  
a.a.O., S. 42
- /4.45/ Fördergesellschaft Technischer Ausbau,  
a.a.O., S. 40
- /4.46/ D. Grosshans,  
Stand der Gas-Wärmepumpentechnik,  
gwf-gas/erdgas 122 (1982), II.12, S. 541
- /4.47/ F.-K. Läge,  
Wieviel erbringt die Niedertemperaturheizung?  
Wärmetechnik 5/1981, S. 283
- /4.48/ Fördergesellschaft Technischer Ausbau,  
a.a.O., S. 99
- /4.49/ S. Hesslinger,  
Auswahl und Auslegung von Niedertemperatur-  
heizungen,  
Oel + Gasfeuerung 10/1980, S. 592
- /4.50/ A. Bach,  
Heizkörper und Fußbodenheizungen-Ansätze  
zu einem Vergleich,  
Klima- und Kälteingenieur 1977, H. 3, S. 95
- /4.51/ H. Böcher,  
ABC der Elektroheizung,  
Heidelberg, 1982, S. 50
- /4.52/ Haendly, Bach,  
Prinzipstudie Niedertemperaturheizung,  
Karlsruhe, 1979

- /4.53/ Buderus AG,  
Heizflächen, Wärmeleistungen, Dimensionierungstabelle,  
Wetzlar, 1985,
- /4.54/ A. Schmitz,  
Niedertemperaturheizung mit Raumheizkörpern,  
VDI-Bericht Nr. 388,  
Düsseldorf, 1980, S. 24
- /4.55/ Buderus AG,  
Heizflächen,  
a.a.O., S. 190
- /4.56/ H. Schmitz,  
Niedertemperaturheizung,  
a.a.O., S.
- /4.57/ G. Hausladen,  
Wirtschaftlichkeit verschiedener Regelan-  
richtungen für öl- und gasgefeuerte Warm-  
wasserheizanlagen im Wohnungsbau,  
HLH 28 (1977), Nr. 6, S. 223
- /4.58/ o. Verfasser,  
Energieeinsparung durch moderne Meß-  
und Regelungstechnik,  
Gas, H. 2, 1985, S. 113
- /4.59/ U. Andreas, D. Wolff,  
Verfahren der Heizungsregelung im Wohn-  
und Nichtwohnbau,  
HLH 35 (1984), Nr. 8, S. 361
- /4.60/ P. Borstelmann,  
Die Entwicklung der elektrischen Raumheizung  
in der Bundesrepublik Deutschland,  
Elektrowärme international,  
37 (1979), A6, S. A 330
- /4.61/ H. Kirn,  
Chronik der Elektroraumheizung in der Bundesrepublik  
Deutschland in den letzten 40 Jahren,  
elektrowärme international,  
42 (1984) A3, S. A 81
- /4.62/ Rheinisch-Westf. Elektrizitätswerk,  
RWE-Bauhandbuch 1985/86,  
Essen, o. Datum, S. 444
- /4.63/ H. Diedrich,  
Elektrische Speicherheizung -  
Systementwicklungen und Marktchancen,  
RWE informiert Nr. 182,  
Rheinisch-Westf. Elektrizitätswerk,  
Essen, 1982, S. 2

- /4.64/ W. Weidemann,  
Erfahrungen mit der zentralen Steuerung  
von Speicherheizungsanlagen,  
Elektrizitätswirtschaft 78 (1979), H. 7, S. 202
- /4.65/ H. Bitter,  
Raumtemperaturregelung bei Heizanlagen,  
HLH 32 (1981), Nr. 7, S. 272
- /4.66/ Rhein.-Westf. Elektrizitätswerk,  
RWE-Bauhandbuch,  
a.a.O., S. 509
- /4.67/ P. Gilli,  
Die Auswirkungen der Regelbarkeit und  
Regelung von Heizsystemen auf den Energie-  
verbrauch,  
Gesundheitsingenieur 103 (1982), H. 2, S. 73
- /4.68/ E. Mayer,  
Elektrische Heizung - elektrische Lüftung,  
Gesundheitsingenieur 102 (1981), H. 1, S. 1
- /4.69/ K. Fritsch, G. Schade,  
Energieeinsparung durch Absenken der Raum-  
temperatur in Einfamilienhäuser,  
HLH 30 (1979), Nr. 2, S. 63
- /4.70/ H. Bach,  
Technischer Ausbau,  
a.a.O., S. 101
- /4.71/ L. Brenner,  
Moderne Wärmeerzeuger für  
Heizungsanlagen,  
Karlsruhe, 1982, S. 10
- /4.72/ Bundesminister für Forschung und Technologie,  
Verbesserte Ausnutzung von Fernheiznetzen,  
Bonn, 1981, S. 147
- /4.73/ W. Frank,  
Kompakt-Heizstationen für kleine Gebäudeeinheiten,  
FWI 10 (1981), H. 2, S. 53
- /4.74/ RecknagelSprenger,  
Taschenbuch, a.a.O., S. 398
- /4.75/ Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsan-  
wendung e. V. (HEA),  
Dimensionierung von Elektrospeicherheizungen,  
Frankfurt, o. Datum
- /4.76/ H. Moditz,  
Elektrische Raumheizung,  
Wien, New York, 1975, S. 46

- /4.77/ Rhein.-Westf. Elektrizitätswerk,  
RWE-Bauhandbuch 1981/82,  
Essen, o. Datum, S. 7
- /4.78/ W. Doetsch et al.,  
Beispiele über ausgeführte Wärmeschutz-  
maßnahmen im Wohnungsneubau,  
Essen, 1970
- /4.79/ Bundesverband der deutschen Gas- u. Wasser-  
wirtschaft e. V.,  
Kosten der Raumheizung und Warmwasserbe-  
reitung, Heft 20,  
Bonn, 1981
- /4.80/ Fördergesellschaft Technischer Ausbau e. V.,  
Wärmepumpen zur Hausheizung,  
Bonn o. Datum
- /4.81/ Verband der Elektrizitätswerke  
Baden-Württemberg e. V.,  
Elektro-Raumheizung, Ausgabe 1980,  
Stuttgart, 1980
- /4.82/ Viessmann-Werke,  
aktuell 4 (1982), S. 9,  
Publikation der Viessmann-Werke,  
Allendorf
- /4.83/ Rhein.-Westf. Elektrizitätswerk,  
Die Wärmepumpe,  
Heidelberg, 1981, S. 20
- /4.84/ Hauptberatungsstelle für Elektrizitäts-  
anwendung e. V.,  
Kostenrechnung Wärmepumpe,  
Heidelberg, o. Datum, S. 12
- /4.85/ Fördergesellschaft Technischer Ausbau e. V.,  
Wärmepumpen,  
a.a.O., S. 61
- /4.86/ Th. Rinck,  
Regelungstechnik bei Wärmepumpensystemen,  
VDI-Bericht Nr. 343,  
Düsseldorf, 1979, S. 71
- /4.87/ P. Göricke,  
Einfluß der Verdichtersteuerung  
auf die Jahresarbeitszahl,  
VDI-Bericht Nr. 343,  
Düsseldrof, 1979, S. 39
- /4.88/ W. Neuhaus,  
Elektromotorischer Antrieb von  
Wärmepumpen,  
VDI-Bericht Nr. 343,  
Düsseldorf, 1979, S. 53

- /4.89/ Happel GmbH,  
Planungsunterlagen Wärmepumpe,  
Broschüre Nr. H. 870, 4/83, 15.000,  
Herne, 1983, S. 4
- /4.90/ H. Eickenhorst,  
a.a.O., S. 110
- /4.91/ Siemens AG,  
Luft/Wasser-Wärmepumpen,  
Broschüre Nr. Ik-Vk/6/34,  
Erlangen, 1982, S. 41
- /4.92/ Happel GmbH,  
a.a.O., S. 14
- /4.93/ Bundesminister für Forschung und Technologie,  
Analyse des Energieverbrauchs und vergleichende  
Betrachtung der Betriebsergebnisse von Wärme-  
pumpenanlagen, Bericht Nr. T 80-109,  
Bonn, 1980, S. 31
- /4.94/ H. Moditz,  
a.a.O., S. 21
- /4.95/ Rietschel-Raiss,  
Heiz- und Lüftungstechnik,  
Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1963, S. 523
- /4.96/ VDI 2067 (1979, Bl. 2),  
Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungsanlagen,  
Bl. 2, Raumheizung,  
Berlin, Köln, 1979
- /4.97/ VDI 2067 (1974, Bl. 1),  
Wirtschaftlichkeitsberechnungen von Wärmever-  
brauchsanlagen, Bl. 1 - Betriebstechnische und  
wirtschaftliche Grundlagen,  
Berlin, Köln, 1974, S. 6
- /4.98/ G. Wagner,  
Die Wirtschaftlichkeit neuzeitlicher Kesselanlagen,  
Teil 1,  
HLH 36 (1985), Nr. 1, S. 7
- /4.99/ VDI 2067 (1957),  
Richtwerte zur Vorausberechnung der Wirt-  
schaftlichkeit verschiedener Brennstoffe  
bei Warmwasser-Zentralheizungsanlagen,  
Berlin, Köln, 1957
- /4.100/ VDI 2067 (1974, Bl. 2),  
Wirtschaftlichkeitsberechnungen von Wärme-  
verbrauchsanlagen,  
Bl. 2, Raumheizanlagen,  
Berlin, Köln, 1974

- /4.101/ VDI 2067 (1979, Bl. 1),  
Berechnung der Kosten von Wärme-  
versorgungsanlagen, Bl. 1,  
Betriebstechnische und wirtschaft-  
liche Grundlagen,  
Berlin, Köln, 1979
- /4.102/ VDI 2067 (1983, Bl. 1),  
Berechnung der Kosten von Wärmever-  
sorgungsanlagen, Bl. 1; Betriebs-  
technische und wirtschaftliche Grund-  
lagen,  
Berlin, Köln, 1983
- /4.103/ VDI 2067 (1985, Bl. 2),  
Berechnung der Kosten von Wärmever-  
sorgungsanlagen, Bl. 2; Raumheizung,  
Berlin, Köln, 1985
- /4.104/ M. Ehrbar,  
Malz-Berechnung der mittleren Anlagen-  
leistungszahl für Heizwärmepumpen mittels  
der Momentanwertmethode,  
Thalwil, 1983
- /4.105/ Verband der Elektrizitätswerke  
Baden-Württemberg e. V.,  
Elektro-Raumheizung,  
Stuttgart, Ausgaben 1980 und 1981
- /4.106/ Fördergesellschaft Technischer  
Ausbau e. V.,  
a.a.O., S. 90
- /4.107/ Bundesverband der deutschen Gas- und  
Wasserwirtschaft e. V.,  
Kosten der Raumheizung und Warmwasser-  
bereitung,  
Heft 10, Ausgabe 1976  
Heft 20, Ausgabe 1981,  
Bonn
- /4.108/ Bundesverband der deutschen Gas- und Wasser-  
wirtschaft e. V., (BGW),  
Kosten der Raumheizung und Warmwasserbereitung,  
BGW-Schriftenreihe, Ausgabe 1971  
" " , Heft 10, 1976  
" " " 20, 1981  
" " " 25, 1983  
" " " 28, 1984  
" " " 39, 1984/85
- /4.109/ Verband der Elektrizitätswerke  
Baden-Württemberg e. V.,  
Heizkostenvergleich Elektro-Raumheizung,  
Stuttgart, Ausgabe 1980, 1981, 1983-85



- /4.110/ A. Hadenfeldt,  
Die Wärmepumpe in Wettbewerb der  
Heizungssysteme,  
elektrowärme international 37 (1979), S. 746
- /4.111/ IFO - e. V.,  
Kostenvergleich der Raumheizung in Neubauten,  
ifo - Schnelldienst 8/1984, S. 17  
ifo - Schnelldienst 19/1985, S. 20
- /4.112/ S. Seibt,  
Heizkosten in einem Einfamilienhaus,  
Energiewirtschaftliche Tagesfragen 26 (1976),  
H. 9, S. 513
- /4.113/ o. Verfasser,  
Gratis gibt's nur den Sonnenschein,  
DM extra, S. 115
- /4.114/ Stiftung Warentest e. V.,  
Kohle-Öl-Gas-Strom?  
Test, Heft 11 (1973, S. 539)
- /4.115/ H.-J. Kohnke,  
Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen  
an Zentralheizungen,  
Sanitär- und Heizungstechnik 11 (1985), S. 665
- /4.116/ E. Möllmann,  
Heiz- und Raumlufttechnik,  
Publikation der Buderus AG,  
Wetzlar, 1985, S. 7
- /4.117/ Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsan-  
wendung e. V. (HEA),  
Kostenrechnung Wärmepumpe,  
Heidelberg, 1981
- /4.118/ K. Kamm,  
Energie-Kosten-Prognose für elektrisch  
bivalent-alternativ betriebene Luft/Wasser-  
Wärmepumpen in Wohnbereich,  
Klima-Kälte-Heizung 3/1980, S. 105
- /4.119/ K. Jelonnek,  
Elektrowärmepumpen für Ein- und Zweifamilien-  
häuser - Primärwärmequellen im Vergleich,  
elektrowärme international 42 (1984), S. A 157
- /4.120/ H. Kirn, A. Hadenfeldt,  
Wärmepumpen,  
Karlsruhe, 1976
- /4.121/ H. Klaus,  
Die Wärmepumpe - richtige Dimensionierung,  
Strompraxis 5/81, S. 10 und 6/81, S. 6

- /4.122/ E. Beyss,  
Wärmepumpe: Grundlage, Einsatzmöglichkeit  
und Wirtschaftlichkeit,  
TÜV Rheinland, Köln, 1980
- /4.123/ H. C. von Cube,  
Aufgaben und Probleme der Haus-Heiz-Wärme-  
pumpe in der künftigen Energieversorgung,  
Klima + Kälteingenieur 6/1976, S. 237
- /4.124/ U. Fox,  
Optimaler Auslegungspunkt einer  
bivalenten Wärmepumpenanlage,  
Klima + Kälteingenieur 12/1977, S. 445
- /4.125/ F. Bukau,  
Probleme der Auslegung und des Betriebes  
von Heizwärmepumpen,  
HLH 31 (1980), Nr. 10, S. 358
- /4.126/ F. Bukau,  
Der Kreisprozeß der Heizwärmepumpe,  
Berlin, 1978
- /4.127/ H. Kirn et al.,  
eta 40/1982, S. A 242
- /4.128/ Happel GmbH,  
Planungsunterlagen,  
a.a.O., S. 11
- /4.129/ Buderus AG,  
Buderus Sole/Wasser-Wärmepumpe WS 4.1,  
Prospekt der Buderus AG,  
Wetzlar, S. 8. u. 12
- /4.130/ Der Bundesminister für Forschung und  
Technologie,  
Nutzung der Solartechnik für die  
Niedertemperatur-Wärmeversorgung,  
Bonn, 1984, S. 44
- /4.131/ Energieversorgung Schwaben AG,  
Funktionsweise der Wärmepumpe,  
Stuttgart, 1982
- /4.132/ H. Spanke,  
Wärmepumpen,  
Interner Bericht der Schleswig AG,  
Rendsburg, 1982, S. 3
- /4.133/ Hauptberatungsstelle für Elektrizitäts-  
anwendung e. V.,  
Medienüberblick Wärmepumpe,  
Frankfurt, 1984

- /4.134/ H. Kirn,  
Sinnvolle Energieanwendung unter Einsatz  
der Wärmepumpe,  
Energiewirtschaftliche Tagesfragen  
26 (1976), H. 9, S. 500
- /4.135/ o. Verfasser,  
Übersichtstabelle Standard-  
Kompakt-Wärmepumpen,  
cci 9/1978, S. 23/24
- /4.136/ Bosch GmbH,  
Wärmepumpe Junkers,  
Die energiesparende Heizung,  
Firmenbroschüre, Wernau, 1980, S. 7
- /4.137/ Stiebel-Eltron GmbH,  
Wärmepumpen-Anlagen,  
Broschüre, Holzminden, 1983
- /4.138/ R. Weber,  
Was leisten Wärmepumpen wirklich?  
Chemische Rundschau v. 18.01.1985, S. 76
- /4.139/ H. Schaefer,  
Grundbegriffe der Energiewirtschaft  
und Energietechnik,  
Brennst.-Wärme-Kraft 32 (1980),  
Nr. 8, S. 334 ff
- /4.140/ H. D. Baehr,  
Zur Thermodynamik des Heizens,  
Brennst.-Wärme-Kraft 32 (1980),  
Nr. 1, S. 9 ff

## 5. Investitionsplanung und -entscheidung

Das Spektrum der Einflußgrößen, die bei der Investitionsentscheidung eine Rolle spielen, ist außerordentlich groß wie Bild 5.1 zeigt. Monetäre Faktoren, die in dieser Arbeit vorrangig betrachtet werden, beeinflussen dabei die Investitionsentscheidung nur zum Teil. Je nach Art der vorliegenden Investitionsalternativen können nicht-monetäre Faktoren von gleicher oder größerer Bedeutung sein.

Will man abschätzen, welche Wirkung ihnen zukommt, so muß zunächst aus Rechnungen der quantitative Vergleich zweier Alternativen bekannt sein. Erst mit Vorliegen der monetären Vergleichsbedingungen wird ein Maßstab dafür geschaffen, welche Konsequenzen eine Entscheidung aus nicht-monetären Gründen hat. Bei Vorliegen der quantitativen Ausgangsbedingungen kann sich der Investor Klarheit darüber verschaffen, was eine Entscheidung gegen das ökonomisch günstigste System bedeutet. Eine rationale Entscheidung ohne Rechnung jedoch ist nicht möglich.

Für die nicht-monetären Faktoren läßt sich kein allgemeingültiges Prioritätenschema aufstellen, jeder einzelne Aspekt kann eine Investitionsentscheidung maßgeblich beeinflussen. Zwei Aspekte unterschiedlicher Wirkung sollen jedoch herausgegriffen werden.

Dies sind zum einen die den Entscheidungsprozeß für innovative Systeme hemmenden Faktoren. Dazu gehören das Fehlen neutraler Berater, anerkannter Rechenverfahren, neutraler Produktinformation sowie vielfache behördliche Auflagen und das eingeschränkte Angebot von Versorgungsunternehmen (bei Wärmepumpen).

Auf der anderen Seite ist der Einfluß der Unternehmen auf den Planer bzw. Kunden zu beleuchten. Zu den Unternehmen eines Energiesystems sind jeweils die Versorgungsunternehmen, Anlagenhersteller und Installationsbetriebe zu zählen. Für den Erfolg eines Energiesystems ist vorrangig von Bedeutung, welches positive ökonomische Bild offeriert werden kann, in welcher Geschlossenheit es die Teilgruppen eines Wirtschaftszweiges vermitteln und welche Beraterqualität beim Kunden eingesetzt werden kann.

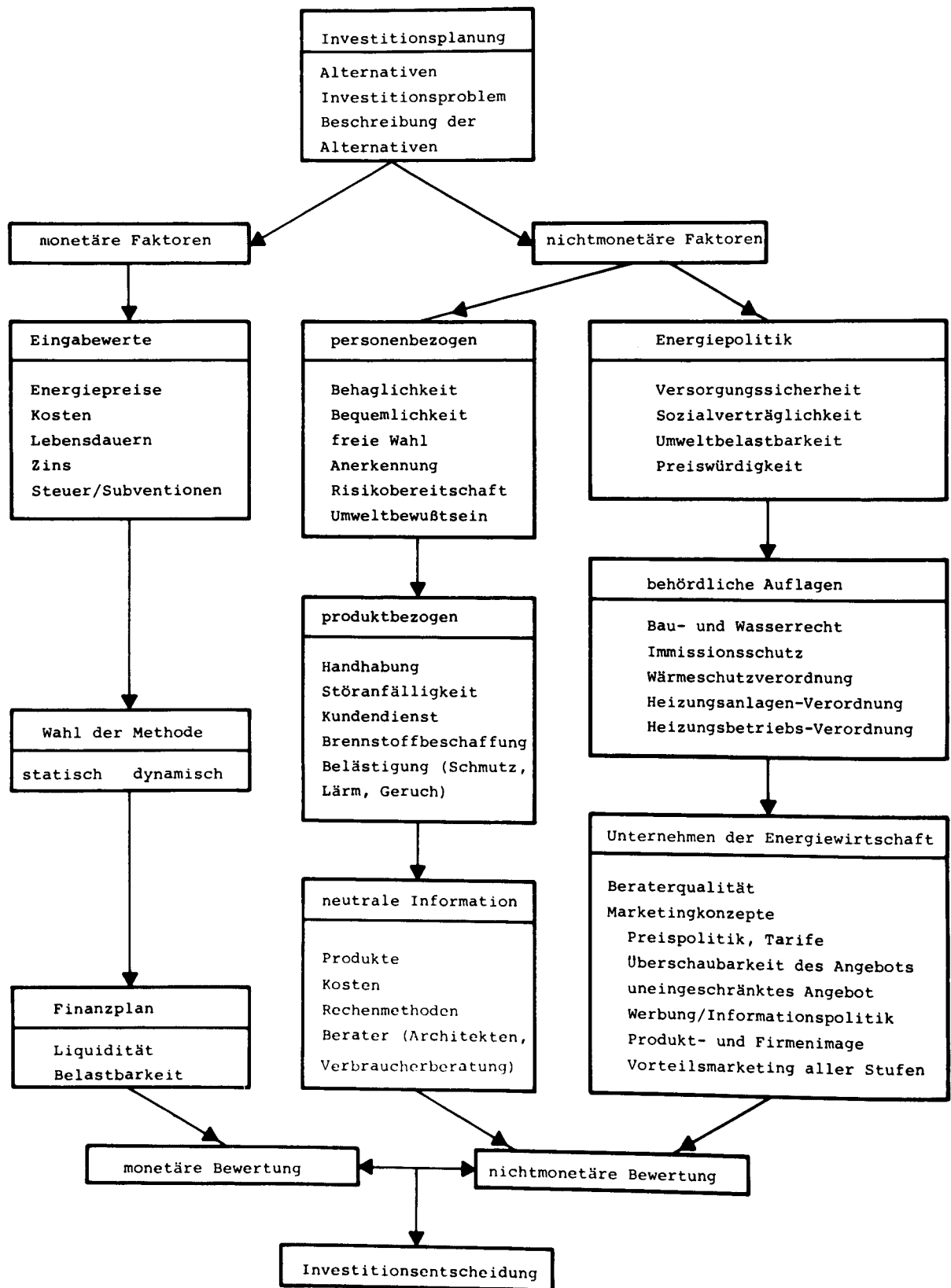


Bild 5.1: Einflußfaktoren für Investitionsplanung und -entscheidung

Kommt man zurück zur monetären Investitionsplanung des Planers bzw. Investors, so gilt es, gemäß Bild 5.1 das Flußbild der Entscheidungselemente bis zur Investitionsentscheidung zu verfolgen. Ausgangspunkt der monetären Entscheidung ist die Wahl eines geeigneten Entscheidungsverfahrens.

Nach wie vor ist die Richtlinie VDI 2067 das allgemein anerkannte Verfahren bei der Wahl von Heizsystemen. Es ist vom Ansatz her ein quasi-statisches Verfahren, mit dem die Kosten im ersten Betriebsjahr ermittelt werden. Mit dem Aufkommen innovativer Systeme wie Wärmepumpen und Solaranlagen, die durch erhöhten Kapitaleinsatz Energie substituieren, gewann der Aspekt der Zukunftsorientierung an Bedeutung. Zum einen, weil die Vorteile durch Energieeinsparung erst über einen längeren Zeitraum zum Tragen kommen und zum anderen besonders dann, wenn die in der Vergangenheit beobachteten Verschiebungen der Energiepreise in die Zukunft projiziert werden.

Beide Verfahren werden im folgenden formal und im Hinblick auf ihren Einsatz dargestellt. Der methodischen Betrachtung folgt die Ermittlung der Eingabewerte für die Heizkostenvergleiche. Der Rahmen der Einflußgrößen auf die Investitionsentscheidung wird abgerundet durch eine kurze Analyse der Beeinflussungsmöglichkeiten des Entscheidungsprozesses durch Marketingmaßnahmen der Energiewirtschaft und eine Einordnung der neutralen Verbraucherberatung.

## 5.1 Methoden der Investitionsrechnung

### 5.1.1 Allgemeine Betrachtung eines Investitionsvergleichs

In Bild 5.2 sind beispielhafte Ausgangsbedingungen für den Vergleich zweier Investitionsobjekte dargestellt. Jedes Investitionsobjekt wird charakterisiert durch die Anschaffungsinvestition. Dazu kommen die laufenden Betriebskosten einer Anlage

oder eines Heizsystems. Sie werden in Bild 5.2 zusammengefaßt betrachtet. Nach VDI 2067 können sie detailliert unterschieden werden /5.7 - 5.13/:

1. Verbrauchsgebundene Kosten

Brennstoff- bzw. Energiekosten,  
Kosten für elektrische Hilfsenergie,  
Kosten für sonstige Betriebsmittel

2. Bedienungs- und Wartungskosten

3. Sonstige Kosten (Versicherungen usw.)

Dazu kommen die bereits erwähnten Investitionskosten, die in die kapitalgebundenen Kosten als Kapitaldienst eingehen. Zu dieser Gruppe gehören nach VDI 2067 auch die Instandhaltungskosten.

Den beiden Hauptkostengruppen aus Anschaffung und Betrieb der Heizanlage sind in Bild 5.2 ganz rechts die entsprechenden Kostenverläufe zugeordnet.

In Fall Nr. 1 werden zwei Anlagen verglichen, von denen eine sowohl von der Investition als auch von den Betriebskosten höher liegt. Da die Betriebskosten sich im Nutzungsverlauf nicht verändern, ist diese Betrachtung von der Preisentwicklung her statisch. Verteilt man die Anfangsinvestition in gleichen Raten über die Lebensdauer der Anlagen, so erhält man die ganz rechts im Bild 5.2 dargestellten Kostenverläufe. Beide Kostenkurven verlaufen parallel zueinander. Da sich im Zeitverlauf nichts ändert, ist es ausreichend, das erste Betriebsjahr zu betrachten. Die Vorgehensweise nach Bild 5.2 entspricht der Methode zum Investitionsvergleich nach VDI 2067. Die Entscheidungsregel lautet hier, daß das Objekt mit den geringsten Kosten im 1. Betriebsjahr auszuwählen ist.

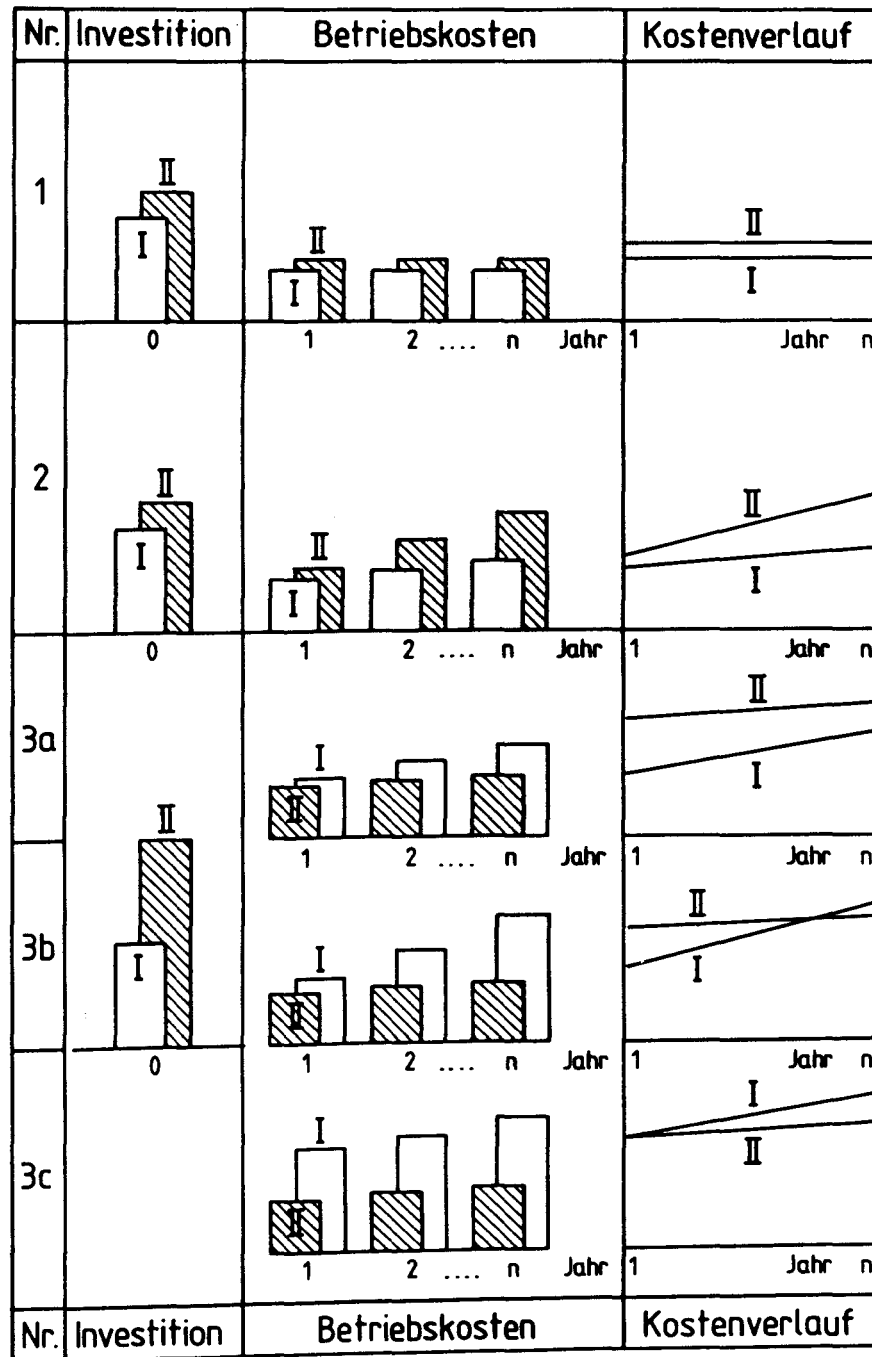


Bild 5.2: Vergleich von jeweils zwei Investitionsobjekten unter typischen Ausgangsbedingungen



In Fall Nr. 2 werden gleiche Anschaffungskosten aber preisdynamische Entwicklungen unterstellt. Da ein System sowohl von den Kapitalkosten als auch von den Betriebskosten höher liegt, ist die Entscheidung eindeutig. Sowohl bei statischer Betrachtung des 1. Betriebsjahres als auch bei dynamischer Betrachtung über den ganzen Betrachtungszeitraum ist Objekt Nr. I auszuwählen.

Während in den Fällen 1 und 2 ähnlich hohe Anschaffungskosten unterstellt wurden, gibt es in den Fällen 3 a - 3 c signifikante Unterschiede vom Investitionsaufwand her. Die Fälle 3 a bis 3 c unterscheiden sich darüber hinaus durch die Stärke der Preisdynamik (Betriebskosten). Fall 3 a macht deutlich, daß die Einsparungen von der Betriebskostenseite nicht ausreichen, den zusätzlichen Investitionsaufwand zu kompensieren. Sowohl aus statischer als auch aus dynamischer Sicht bleibt System I vorteilhaft. Fall Nr. 3 b zeigt den typischen Kostenverlauf zweier von den Anschaffungskosten und Betriebskosten gegensätzlich einzuordnenden Investitionsobjekte. Es gibt im Betrachtungszeitraum einen Schnittpunkt beider Kurven. Die Entscheidungsregel kann nun bei Einbeziehung nur des 1. Betriebsjahres bzw. des ganzen Betrachtungszeitraumes unterschiedlich sein. Aus statischer Sicht ist im 1. Betriebsjahr das Objekt Nr. II auszuwählen. Bei dynamischer Betrachtung hängt es vom Zeitpunkt des Schnittpunktes beider Kurven ab, welchem System der Vorrang zu geben ist. Fall Nr. 3 b stellt die typische Ausgangssituation für den Vergleich konventioneller Systeme (niedrige Anschaffungskosten - Typ I) mit innovativen Systemen wie Wärmepumpen dar (Typ II).

Sollen Wärmepumpen nur bei Berücksichtigung des 1. Betriebsjahres vorteilhaft bewertet werden, so müssen sie den Bedingungen des Falles 3 c genügen. Dies bedeutet, daß die Zusatzkapitalkosten durch außerordentliche Betriebskosteneinsparungen schon im 1. Betriebsjahr kompensiert werden müssen. Im ganzen Betrachtungszeitraum würden sich somit erhebliche Kostenvorteile für Wärmepumpen ergeben, da die Kurve II sich fortlaufend gegenüber der Kurve I verbessert.

Im Rahmen dieser Arbeit steht vorrangig die Methode nach VDI 2067, um das Entscheidungsverhalten der Planer bzw. Verbraucher zu analysieren. Die dynamische Betrachtung dient der Einschätzung dieser Ergebnisse, hat somit ergänzenden Charakter.

### 5.1.2 Statische und dynamische Verfahren

In Bild 5.3 sind heute übliche Verfahren der Investitionsrechnung genannt /5.3/.

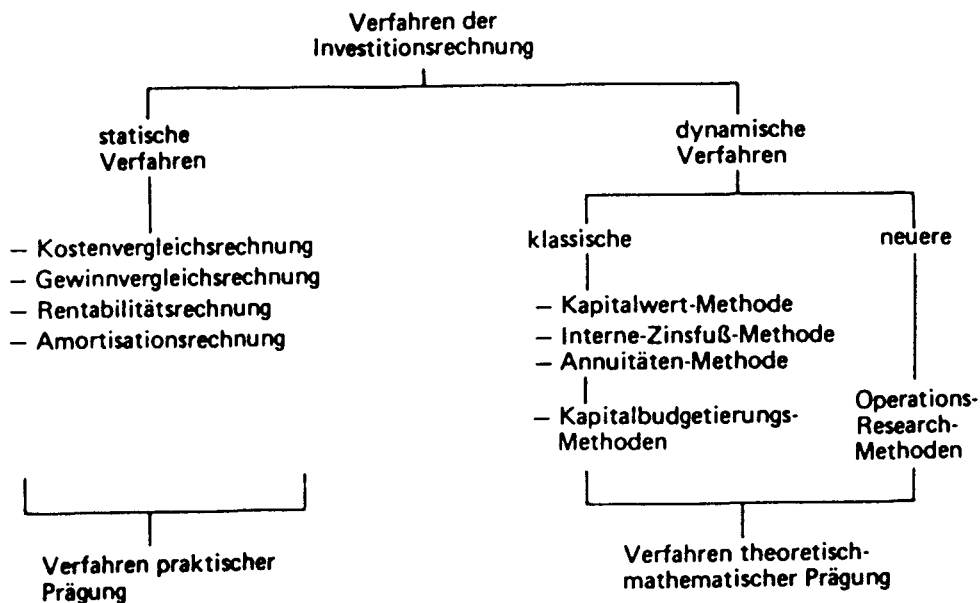


Bild 5.3: Verfahren der Investitionsrechnung /5.3/

Bei den rein statischen Methoden der Investitionsrechnung handelt es sich um relativ grobe Schätzverfahren, die in der Praxis entwickelt wurden /5.1 - 5.4/. Ihnen gemeinsam ist, daß sie keine finanzmathematischen Methoden berücksichtigen. Dadurch wird der Zeitbezug beim Anfall von Einnahme und Ausgabe nur unvollständig bzw. überhaupt nicht berücksichtigt.

Für die Wahl von Heizsystemen kommen von den dynamischen Verfahren in Frage /5.17-5.27/:

Kapitalwert-Methode  
Interne-Zinsfuß-Methode  
Annuitäten-Methode.

Im Rahmen dieser Arbeit werden vorwiegend finanzmathematische Elemente der Kapitalwert-Methode sowie die Annuitäten-Methode verwendet.

Das in Zusammenhang mit Bild 5.2 erläuterte Verfahren nach VDI 2067 läßt sich zunächst weder der statischen noch der dynamischen Kategorie eindeutig zuordnen, da es bei der Berechnung der kapitalgebundenen Kosten finanzmathematische Methoden berücksichtigt, die Ermittlung der Energiekosten jedoch statisch ist.

### 5.1.3 Elemente der Kapitalwert-Methode

Mit der Kapitalwert-Methode werden im Zeitablauf anfallende, zu einem bestimmten Kalkulationszinsfuß bewertete Ausgaben oder Einnahmen vergleichbar gemacht. Werden die Elemente einer Einnahmen- oder Ausgabenreihe auf die Gegenwart bezogen, so spricht man von der Kapitalwert-Methode im engeren Sinne. Werden die Ausgaben oder Einnahmen auf den Endpunkt eines Betrachtungszeitraumes bezogen, so handelt es sich um die Endwert-Methode, einer Sonderform der Kapitalwert-Methode.

#### a) Abzinsungsvorgänge (Kapitalwert-Methode)

Bei der Kapitalwert-Methode wird durch Abzinsen einer Zahlungsreihe (g) über die Dauer von n Jahren der den einzelnen Geldbeträgen äquivalente Kapitalwert oder Barwert (BW) zum Zeitpunkt 0 ermittelt (s. Bild 5.3).

Für das Abdiskontieren gilt:

$$BW = g \cdot (1+i)^{-1} + g \cdot (1+i)^{-2} \cdot \cdot \cdot + g \cdot (1+i)^{-n} \quad \text{Gl. 5.1}$$

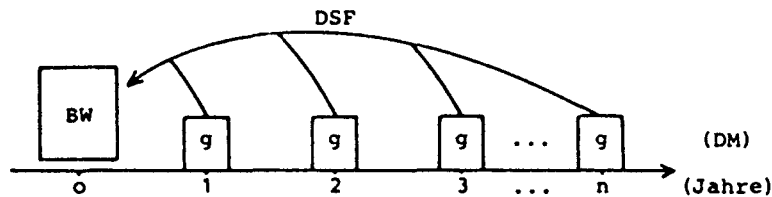


Bild 5.3: Ermittlung des Barwertes (BW) einer Zahlungsreihe (g) /5.177/

Dabei ist  $i$  der zugrunde gelegte Kalkulationszinsfuß. Die Gleichung 5.1 läßt sich über den Summenwert der vorliegenden geometrischen Reihe vereinfachen /5.6/:

$$BW = g \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \quad \text{Gl. 5.2}$$

Mit  $\frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} = \text{DSF} \quad \text{Gl. 5.3}$

DSF = Diskontierungs-Summenfaktor

Mit dem Diskontierungs-Summenfaktor (DSF) läßt sich der Barwert einer Zahlungsreihe direkt ermitteln, wenn

- die Zahlungen stets am Jahresende erfolgen,
- die Zahlungsreihen äquidistant sind,
- die Zahlungsreihen uniform sind (gleiche Höhe der einzelnen Glieder).

Rechnet man mit Preissteigerungen der einzelnen Glieder einer Zahlungsreihe, wie dies etwa der Fall bei den Betriebskosten von Heizanlagen ist, so gilt die schematische Ermittlung des Barwertes nach Bild 5.4.

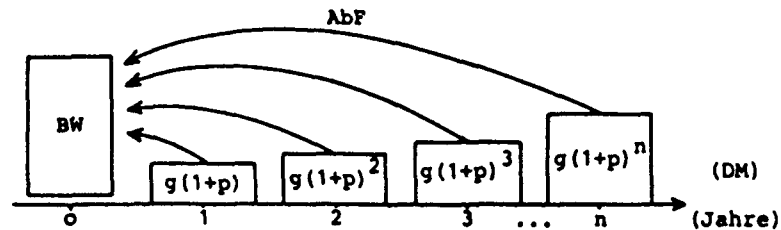


Bild 5.4: Ermittlung des Barwertes (BW) einer Zahlungsreihe mit Preissteigerungen  $(1 + p)$  /5.177/

Die Betriebskosten (BK) der einzelnen Jahre werden zunächst aufgezinst

$$BK = \sum_{j=1}^n g \cdot (1+p)^j \quad \text{Gl. 5.4}$$

$g$  = Betriebskosten des Jahres 0

$p$  = Preissteigerungsrate

$j$  = Jahre

Da die jährliche Ausgaben nun nicht mehr konstant sind, kann nicht mit dem Diskontierungs-Summenfaktor gerechnet werden, sondern die Glieder der Zahlungsreihe müssen schrittweise abgezinst werden:

$$BW = g \cdot \left( \frac{1+p}{1+i} \right)^1 + g \cdot \left( \frac{1+p}{1+i} \right)^2 \dots + g \cdot \left( \frac{1+p}{1+i} \right)^n \quad \text{Gl. 5.5}$$

BW = Barwert der Ausgaben

Mit Hilfe der Summenformel für geometrische Reihen ergibt sich:

$$BW = g \cdot \left( \frac{1+p}{1+i} \right) \cdot \left[ \frac{1 - \left( \frac{1+p}{1+i} \right)^n}{1 - \left( \frac{1+p}{1+i} \right)} \right] \quad \text{Gl. 5.6}$$

Mit  $\left( \frac{1+p}{1+i} \right) = f$  erhält man Gl. 5.7

$$BW = g \cdot f \cdot \left( \frac{1-f^n}{1-f} \right) \quad \text{Gl. 5.8}$$

#### b) Aufzinsungsvorgänge (Endwert-Methode)

Die Endwert-Methode läßt sich z. B. verwenden, wenn festgestellt werden soll, welche Kosten ein Heizsystem im Betrachtungszeitraum verursacht hat. Zunächst wird der Fall ohne Preissteigerungen nach Bild 5.5 betrachtet. Dafür gelten die gleichen Voraussetzungen wie beim Abzinsungsfall ohne Preissteigerungen. Analog gilt hier für den Endwert der Auszahlungen ( $K_n$ ):

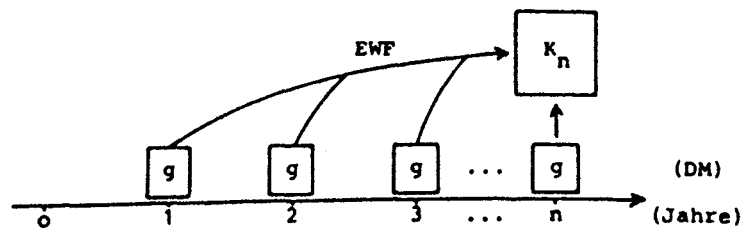


Bild 5.5: Ermittlung des Endwertes  $K_n$  einer Zahlungsreihe  $g$  /5.28/

$$K_n = g + g \cdot (1+i) + g \cdot (1+i)^2 \cdot \dots + g \cdot (1+i)^{n-1} \quad \text{Gl. 5.9}$$

Unter Einbeziehung der Summenformel für geometrische Reihen erhält man:

$$K_n = g \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i} \quad \text{Gl. 5.10}$$

Mit  $\frac{(1+i)^n - 1}{i} = \text{EWF}$  Gl. 5.11

EWF = Endwertfaktor

Der Endwert wird also in einem Gang mit dem Endwertfaktor ermittelt. Für Preissteigerungen bei den jährlich anfallenden Kosten gilt (s. Bild 5.6):

$$K_n = g \cdot (1+p)^n + g \cdot (1+p)^{n-1} \cdot (1+i) \dots + g \cdot (1+p) \cdot (1+i)^{n-1} \quad \text{Gl. 5.12}$$

Mit Hilfe der Summenformel für geometrische Reihen läßt sich wiederum vereinfacht schreiben:

$$K_n = g \cdot (1+p)^n \cdot \left[ \frac{1 - \left( \frac{1+i}{1+p} \right)^n}{1 - \left( \frac{1+i}{1+p} \right)} \right] \quad \text{Gl. 5.13}$$

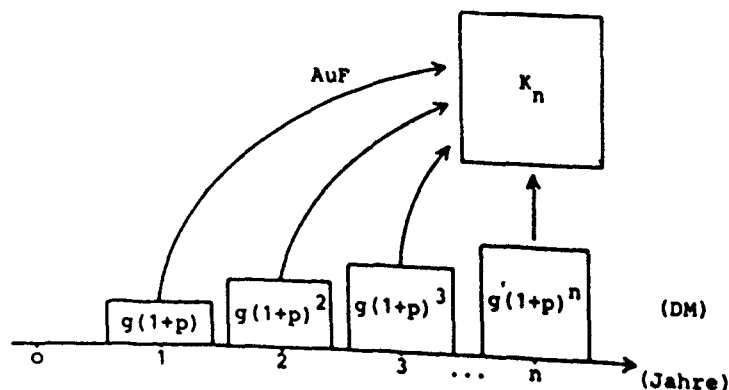


Bild 5.6: Ermittlung des Endwertes ( $K_n$ ) einer Zahlungsreihe ( $g$ ) bei Berücksichtigung von Preissteigerungen /5.16, 5.28/

Mit Gl. 5.13 läßt sich der Endwert einer gleichmäßig wachsenden Zahlungsreihe bestimmen. Wächst die Zahlungsreihe ungleichmäßig, so müssen die Glieder der Zahlungsreihe einzeln über den Aufzinsungsfaktor (Auf) bestimmt werden.

#### 5.1.4 Dynamische Annuitäten-Methode

Die Darstellung der dynamischen Annuitäten-Methode dient der Einordnung des Verfahrens nach VDI 2067, es werden mit ihr keine Investitionsrechnungen zur Beurteilung der Verbraucherentscheidung durchgeführt.

Mit der dynamischen Annuitäten-Methode werden die durchschnittlichen Kosten eines Investitionsobjektes über einen Betrachtungszeitraum bei vorgegebenem Kalkulationszinssatz  $i$  ermittelt /5.5/. Der Vorgang soll an einem Einzelobjekt verfolgt werden (s. Bild 5.7). Die Vorgehensweise ist gekennzeichnet durch das Vergleichbarmachen der anfallenden Ausgaben durch Abzinsen und das anschließende Verteilen des Barwertes der abgezinsten Ausgaben auf die einzelnen Jahre mit dem Wiedergewinnungs- oder Annuitätenfaktor.

Von der Ausgabenseite des Investitionsobjektes werden in Bild 5.7 sowohl Anschaffungskosten als auch laufende Betriebskosten betrachtet.

Da die Ausgabe für die Investition zu Anfang der Betrachtung anfällt, erübrigt sich ein Abzinsen, da ja der Barwert bereits vorliegt. Diese Anfangsinvestition  $K_0$  wird nun in eine über  $n$  Jahre laufende Zahlungsreihe  $KD$  mit einem Zinssatz  $i$  umgewandelt:

$$KD = \frac{K_0 \cdot i \cdot (1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad \text{Gl. 5.14}$$

$$\text{Setzt man} \quad (1+i) = q \quad \text{Gl. 5.15}$$

$$\text{so ergibt sich} \quad KD = \frac{K_0 \cdot q^n \cdot (q - 1)}{q^n - 1} \quad \text{Gl. 5.16}$$



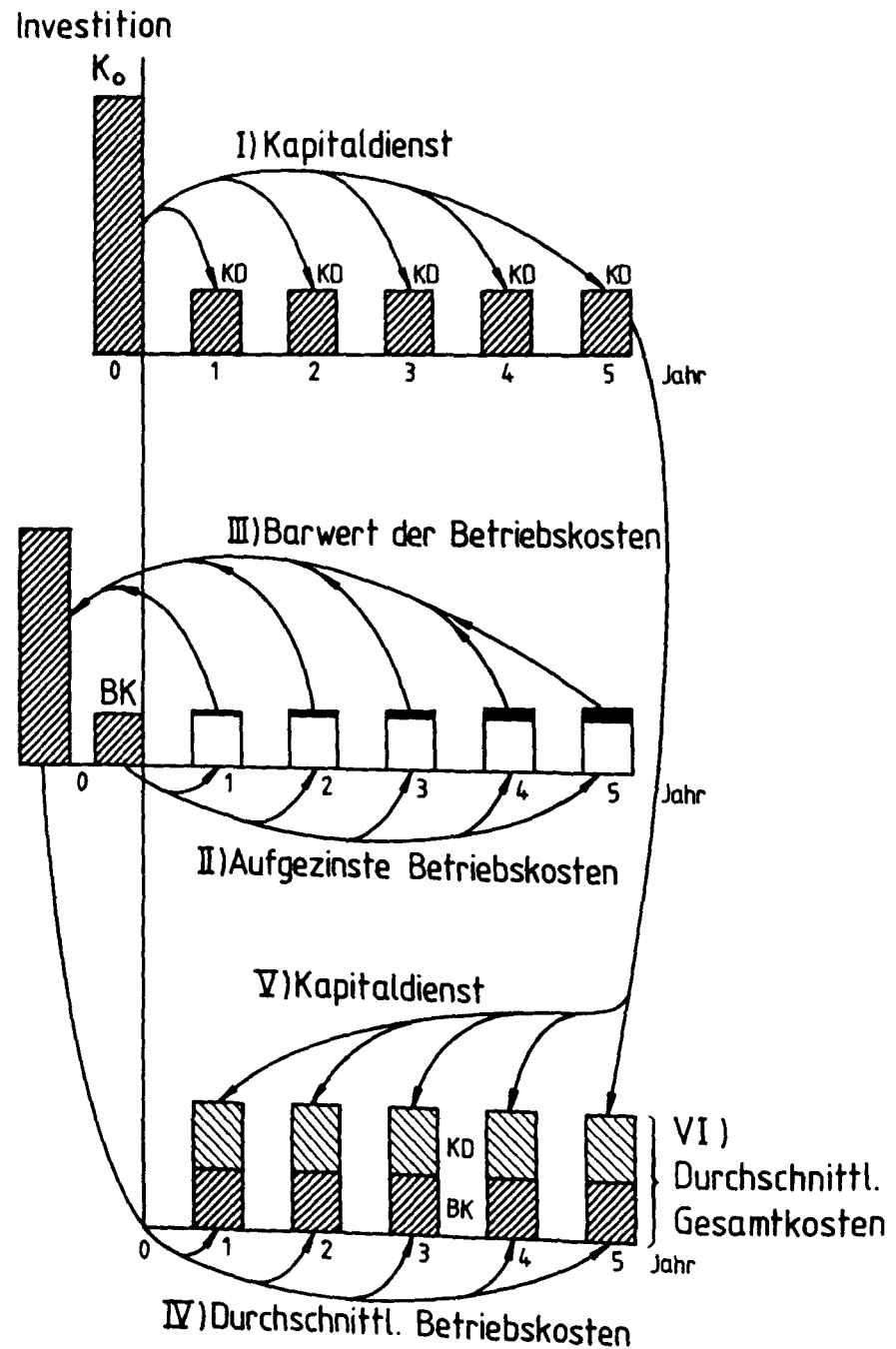


Bild 5.7: Vorgehensweise bei der dynamischen Annuitäten-Methode zur Ermittlung der durchschnittlichen Gesamtkosten aus Investition und Betriebskosten

$$\text{Mit } \frac{q^n \cdot (q - 1)}{q^n - 1} = AF \quad \text{Gl. 5.17}$$

AF = Annuitätenfaktor

$$\text{erhält man allgemein } KD = K_o \cdot AF \quad \text{Gl. 5.18}$$

Der Kapitaldienst KD ist derjenige Betrag, der durchschnittlich jährlich für Tilgung und Verzinsung der Investition aufgebracht werden muß.

Bei der Analyse der laufenden Betriebskosten lassen sich wiederum zwei Fälle unterscheiden:

- a) Betriebskosten ohne Preissteigerung,
- b) Betriebskosten mit Preissteigerung.

In Bild 5.7 ist der Fall konstanter Preissteigerungen bei den Betriebskosten berücksichtigt worden, der also den allgemeinen Fall darstellt. Die Betriebskosten werden zunächst durch die angenommene Preissteigerungsrate  $p$  aufgezinst (Strahl II) und dann durch Abzinsen auf den Zeitpunkt 0 vergleichbar gemacht (Strahl III). Der Barwert der Betriebskosten wird nun gleichmäßig auf den Betrachtungszeitraum verteilt (Strahl IV). Zur Ermittlung der gesamten durchschnittlichen Kosten des Investitionsobjektes wird der jährliche durchschnittliche Kapitaldienst zu den Betriebskosten addiert (Strahl V). Das Ergebnis sind die durchschnittlichen jährlichen Gesamtkosten. Die Ermittlung der Betriebskosten (BK) wird in 2 Schritten durch Aufzinsen (Strahl II) und Abzinsen der gleichmäßig wachsenden Glieder (Strahl III) analog nach Gl. 5.6 ermittelt:

$$BW = BK \cdot \left( \frac{1+p}{1+i} \right) \cdot \left[ \frac{1 - \left( \frac{1+p}{1+i} \right)^n}{1 - \left( \frac{1+p}{1+i} \right)} \right] \quad \text{Gl. 5.19}$$

Wird wiederum  $(1 + i) = g$  gesetzt und

$$(1 + p) = e \quad \text{Gl. 5.20}$$

so erhält man

$$BW = BK_o \cdot e \cdot \left( \frac{q^n - e^n}{q^n \cdot (q - e)} \right) \quad \text{Gl. 5.21}$$

Durch Umlegen der barbewerteten Betriebskosten auf die einzelnen Jahre mit dem Annuitätenfaktor erhält man die durchschnittlichen jährlichen Betriebskosten im Betrachtungszeitraum

$$\emptyset BK_n = BK_0 \cdot e \cdot \frac{(q^n - e^n)}{q^n \cdot (q - e)} \cdot \frac{q^n \cdot (q - 1)}{q^n - 1} \quad \text{Gl. 5.22}$$

Für den spezielleren Fall ohne Preissteigerung der Betriebskosten ergibt sich:

$$\emptyset BK_n = BK_0 \cdot \frac{q^n - 1}{q^n \cdot (q - 1)} \cdot \frac{q^n \cdot (q - 1)}{(q^n - 1)} \quad \text{Gl. 5.23}$$

oder

$$\underline{\underline{\emptyset BK_n = BK_0 !}} \quad \text{Gl. 5.24}$$

Wird nun die Betrachtung vom einzelnen Investitionsobjekt erweitert zum Vergleich zweier Objekte, so lassen sich für jedes einzelne Objekt entsprechend dem dargestellten Verfahren Durchschnittskosten ermitteln. Die Entscheidungsregel für die Vorteilhaftigkeit lautet dann, daß das Objekt mit den geringsten Kosten auszuwählen ist.

#### 5.1.5 Verfahren nach VDI 2067

Für die Berechnung der Kosten bzw. der Wirtschaftlichkeit von Raumheizungsanlagen erschienen bisher folgenden Ausgaben der VDI 2067 /5.7-5.13/:

1. Ausgabe 1967
2. Ausgabe 1974, Blatt 1 + 2
3. Ausgabe 1979, Blatt 1 + 2
4. Ausgabe 1983, Blatt 1
5. Ausgabe 1985, Blatt 2

Die wichtigste Neuerung seit Einführung des Verfahrens war die Einbeziehung eines Kurzverfahrens (1974). Das Verfahren selbst ist im wesentlichen inhaltlich unverändert geblieben, wenn es auch im Lauf der Zeit vom Detaillierungsgrad her verfeinert wurde. Das ausführliche Verfahren und das Kurzverfahren unterscheiden sich also methodisch nicht. Beim Kurzverfahren werden einzelne Kostengruppen gleicher Nutzungsdauer aus dem detaillierten Verfahren zusammengefaßt, wobei die Instandhaltungssätze der einzelnen Elemente zu einem gemeinsamen Instandhaltungssatz agglomeriert werden (s. Tab. 5.1). Hauptkostengruppen sind die bereits erwähnten kapitalgebundenen Kosten, verbrauchsgebundenen Kosten, Bedienungs- u. Wartungskosten, sonstige Kosten.

Anlagenteil	Nutzungsdauer in Jahren	Instandhaltung in % der Investitionen
Kesselanlage mit Feuerung ggf. Beschickung und Entaschung bzw. Ölvorratsbehälter	20	2,5
Rohrleitungen mit Isolierung, Umwälzpumpen, Regelung und Verteilerstationen einschl. Armaturen in Kessel- und Verteilerstationen	30	1
Nachgeschaltetes Heizsystem mit Heizflächen, Rohrleitungen, Armaturen usw.		
Heizkörper (Guß, Aluminium, Kupfer)	30	1
Heizkörper (Stahl)	25	1
Warmwasserfußbodenheizung mit Stahlrohren	30	1,5
mit Kunststoffrohren	12*)	1,5
zugehörige Baukosten für Kessel- und Verteilerzentrale einschl. Brennstofflager mit Baunebenkosten, Schornstein, zugehörige Baukosten für das nachgeschaltete Heizsystem, zusätzliche Wärmedämmung für das Gebäude	50	1
zusätzliche Wärmedämmung für das Gebäude	50	1
Anschlußkosten	50	—

\*) geschätzte Nutzungsdauer, praktische Betriebserfahrungen liegen z.Z. nur für 5 bis 6 Jahre vor.

Tab. 5.1: Richtwerte für die Berechnung von Kapitaldienst und Instandhaltung nach VDI 2067 (Kurzverfahren) /5.10/

Der Kapitaldienst für die Anschaffungsinvestition wird über in Tabellen genannte Nutzungsdauern der Anlagenanteile (s. Tab. 5.1) und über einen mit dem Auftraggeber abzustimmenden Zinssatz über nachträgliche Annuitäten ermittelt. Die nachträglichen Annuitäten liegen für ausgewählte Zinssätze und Nutzungsdauern tabellarisch vor. Die Instandhaltungskosten werden über feste Prozentsätze im Bezug zu einzelnen Kostenelementen bzw. gleichartigen Kostengruppen ermittelt (vgl. Tab. 5.1). Der ökonomische Teil des Verfahrens wird in der VDI 2067 lediglich schematisch, nicht jedoch formal erläutert.

Vom Ansatz her entspricht es der vorherigen Erläuterung der dynamischen Annuitätenmethode. Die Ermittlung des Kapitaldienstes erfolgt analog zu Gleichung 5.14. Bei der Berechnung der verbrauchsgebenden Kosten läßt es die VDI 2067 offen, ob dynamisch oder statisch gerechnet werden soll. Es wird aber einschränkend festgestellt: "In der Regel wird eine Wirtschaftlichkeitsuntersuchung auf den Preis- und Kostenstand zum Zeitpunkt der Betrachtung aufgebaut /5.14/".

In dieser Form wird die VDI 2067 üblicherweise angewendet, zumal das Ergänzungsblatt über dynamische Verfahren noch nicht vorliegt. Die errechneten Kosten werden als Kosten des 1. Betriebsjahres ausgewiesen. Aus dieser Sicht ist es ein Sonderfall der dynamischen Annuitätenmethode bei Berücksichtigung der verbrauchsgebundenen Kosten nur des 1. Betriebsjahres (s. Bild 5.3). Die offensichtlich fehlende Einbeziehung des gesamten Nutzungszeitraumes eines Investitionsobjektes hat möglicherweise auch zur Änderung des Titels der Richtlinie von "Wirtschaftlichkeitsberechnung" in "Berechnung der Kosten" geführt. Im Vorwort zur Ausgabe 1979, Blatt 1, wurde die Änderung des Titels damit begründet, daß "es sich im Sinne der Betriebs- und Volkswirtschaft nicht um Wirtschaftlichkeitsberechnungen handelt /5.15/. Vergleicht man hierzu einmal die Gleichungen 5.23 bzw. 5.24, die den Fall der Errechnung der durchschnittlichen Betriebskosten ohne Preissteigerungen darstellen, so kann dieser Argumentation nicht gefolgt werden. Es handelt sich durchaus um Wirtschaftlichkeitsrechnungen im Sinne der Betriebswirtschaft.

Geht man von gleichbleibenden Betriebskosten über den Nutzungszeitraum aus, so heben sich Diskontierungssummenfaktor und Annuitätenfaktor auf, so daß über den Betrachtungszeitraum durchschnittliche Kosten in der Höhe der Kosten des 1. Betriebsjahres übrig bleiben (Gl. 5.24). Aus dieser Sicht kann das Verfahren nach VDI 2067 als Sonderfall der dynamischen Annuitätenmethoden mit Dynamik bei der Ermittlung des Kapitaldienstes aber fehlende Preissteigerungsdynamik betrachtet werden. Die verbrauchsgebundenen Kosten des 1. Jahres sind zugleich die durchschnittlichen Kosten des Betrachtungszeitraumes. Eine Differenzierung erübrigte sich somit. Für die späteren Ausführungen wird jedoch aus üblicher Zuordnung der Kosten auf das 1. Betriebsjahr diese Terminologie aus Verständnisgründen beibehalten.

Dieses Verfahren wurde von der Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung e. V., Frankfurt (HEA) für den Leitfaden "Kostenrechnung Wärmepumpe" identisch übernommen /5.29/. Lediglich dort, wo die VDI-Richtlinie keine Angaben macht, (z. B. Nutzungsdauern von Wärmepumpen) wurde das Verfahren ergänzt.

#### 5.1.6 Anmerkungen zu Investitionsrechnungen

Bei der Darlegung der Investitionsrechnung wurde bisher stillschweigend unterstellt, daß der Investor zu dem vorgegebenen Kalkulationszinsfuß beliebige Beträge leihen kann (vgl. /5.30/). Diese Voraussetzung ist in der Praxis nur eingeschränkt gegeben. Diese Einschränkungen sind dadurch möglich, daß heute Bauobjekte weniger nach der klassischen Finanzierung (30 - 40 % Eigenkapital an den Gesamtkosten), sondern nach einer Mindest-Eigenkapitalquote (bis herunter zu 20 %) finanziert werden bzw. finanziert werden müssen, um überhaupt erstellt werden zu können /5.31/. Dieser Eigenkapitalsatz bezieht sich auf die übliche Ausstattung eines Hauses einschließlich eines konventionellen Heizsystems.

Durch erhebliche Zusatzkosten etwa für eine Wärmepumpenanlage oder Solaranlage könnte nun die Mindesteigenkapitalquote, zu der Banken gewillt sind, noch Geld auszuleihen, nicht aufgebracht werden. Eine nach finanzmathematischen Rechnungen vorteilhafte Investition muß dann scheitern, wenn der Käufer nicht in der Lage ist, sein Eigenkapital zu erhöhen.

Ein investitionstheoretisch vorteilhaftes Objekt ist in der Realität erst wählbar, wenn Investitionsplan und Finanzplan des Bauobjektes im Einklang stehen (s. Bild 5.1). Für die weiteren Betrachtungen wird unterstellt, daß die beliebige Ausleihbarkeit von Geldern gegeben ist, da das Aufstellen von Finanzplänen zu sehr von individuellen Annahmen geprägt wird.

Der Vergleich der Investitionsobjekte in Bild 5.2 hat gezeigt, daß es nicht egal ist, welches Verfahren zur Beurteilung zweier Investitionen herangezogen wird. Besonders die Darstellung für den Vergleich in Fall 3 b mit sich schneidenden Kurven hat dies deutlich gemacht. Bei statischer Rechnung war das konventionelle System günstiger, bei dynamischer Betrachtung erwies sich je nach Schnittpunkt der Kostenkurven das innovative System als vorteilhaft. Damit hängt es also von der Wahl der Methode ab, wie die Investitionsentscheidung ausfällt. Für die Anwendung in der Praxis haben beide Verfahren ihre Vor- und Nachteile /5.32/.

Beim statischen Verfahren werden die Energiekosten nur für den Zeitraum des ersten Betriebsjahres erfaßt. Dies bedeutet, daß unkonventionelle Heizsysteme, bei denen ja gerade der hohe Investitionsaufwand durch das Ziel Einsparung an Energiekosten entsteht, beim Auswahlentscheid benachteiligt werden. Die Betrachtung orientiert sich an der Vergangenheitsentwicklung, der Aspekt der Entscheidung unter Unsicherheit wird ausgeschlossen. Die Vorteile des Verfahrens liegen auf der Hand. Man kennt die Wettbewerbssituation am Markt, kann Kostendaten rel. zuverlässig erfassen.

Zulässig wäre das Verschließen des Blicks in die Zukunft aber nur, wenn es auf dem Markt der Energieträger und Heizsysteme keine Strukturveränderung bei Preisen, Kosten und Technik gäbe. Da dies jedoch nicht der Fall ist, muß die Situation des Auswahlentscheids zusätzlich unter dem Gesichtspunkt dynamischer Marktprozesse betrachtet werden. Der Einfluß der Energiepreisentwicklung kommt somit verstärkt zum Tragen. Der Blick in die Zukunft führt zum Problem der Festlegung robuster Annahmen für Kosten und Preise bei unsicheren Erwartungen.

Bei der Ergebnisinterpretation der vorausschauenden dynamischen Wirtschaftlichkeitsrechnung muß darüber hinaus ständig berücksichtigt werden, daß es sich um eine Wenn-dann-Entscheidung handelt. Nur wenn die Annahmen in der Zukunft eintreffen, werden sich die geschätzten Heizkosten wie antizipiert entwickeln.

Um die Vorteile beider Verfahren zu nutzen, sollte der Entscheider auch bei seinen Investitionsüberlegungen beide einbeziehen. Seine Entscheidung auf der Basis für möglich gehaltener Entwicklungen ist dann robust, wenn beide Verfahren ein System als vorteilhaft ausweisen. Tatsächlich ist auch dann noch eine Fehlspekulation möglich, wenn gravierende Störungen des Energiesystems wie die Ölpreiskrisen auftreten.

Dynamische Wirtschaftlichkeitsrechnungen kamen in der Heizungs-technik erst nach der ersten Ölpreiskrise ins Gespräch, das Einbeziehen von Preissteigerungsraten wurde jedoch offensichtlich widersprüchlich behandelt /5.33/. In erster Linie wurden sie von Anbietern von Wärmepumpen und Solaranlagen in die Praxis eingeführt, weil die Kostensituation den Fall Nr. 3 c in Bild 5.2, die innovative Systeme bei statischer Betrachtung als vorteilhaft erscheinen läßt, sich als nur schwer erfüllbar erwies. Für den typischen Kostenvergleich konventioneller Systeme mit z. B. Wärmepumpen (Fall Nr. 3 b in Bild 5.2) konnte erst unter bestimmten Preissteigerungsraten, z. B. für Heizöl, der Nachweis einer Vorteilhaftigkeit für Wärmepumpen erbracht werden.



Infolge der Annahmenunsicherheit haben sich aber Institutionen mit Leitbildfunktion (HEA, Frankfurt) für die statische Betrachtung innovativer Systeme entschlossen. Damit wird der Annahmewillkür begegnet, neuen Systemen aber zugleich auch der Start erschwert.

Für die Untersuchungen der Verbraucherentscheidung bleibt daher die statische Betrachtung der methodische Basisfall. Die vorausschauende dynamische Rechnung wird eingesetzt, um beim Investitionsvergleich konventioneller Systeme (Ölkessel) mit Wärmepumpen zu untersuchen, unter welchen Annahmebedingungen eine Vorteilhaftigkeit für Wärmepumpen nachweisbar war.

Elemente der dynamischen Investitionsrechnung werden weiterhin zur rückblickenden Analyse des Wahlentscheids benutzt. Im Blickpunkt steht dabei die Analyse kritischer Werte (z. B. anlegbare Kosten) bzw. das dynamische Nachvollziehen der Kosten eines Heizsystems unter tatsächlich erfolgten Preisbewegungen für den Betrachtungszeitraum 1972 - 1984. Dies dynamische Nachvollziehen im Sinne einer ex-post-Analyse hat dabei ergänzenden Charakter, eine Interpretation bezüglich der Investitionsentscheidung ist nicht gegeben.

#### 5.1.7 Ergänzendes Planungsinstrumentarium

Die Grundlage jeder Wirtschaftlichkeitsrechnung bilden die die verschiedenen Investitionsobjekte charakterisierenden Annahmen. Das Erarbeiten der Annahmen bildet den Hauptteil des Investitionsvergleiches, während der Rechengang relativ schnell durchzuführen ist. Bei der Erarbeitung der Annahmen ist das Unsicherheitsmoment nicht nur bei vorausschauender dynamischer Wirtschaftlichkeitsrechnung gegeben, sondern auch bei der ex-post-Analyse der vorliegenden Arbeit. Dabei ist zu berücksichtigen, daß für den Betrachtungszeitraum 1972 bis 1984 nicht nur für örtliche Gegebenheiten sondern für ein wesentlich größeres und komplexeres Versorgungsgebiet ein zuverlässiger Datensatz erarbeitet werden muß. Eine exakte Analyse verlangte z. B. die Kenntnis der Häufigkeiten der Energiepreise ausgewählter Ener-

gieträger in einem bestimmten Jahr. Da diese Datengenauigkeit nicht möglich ist, wurde zur Darstellung möglicher Spektren mit einer oberen, mittleren und einer unteren Variante gearbeitet. Die Kenntnis dieser Daten geht in erster Linie auf Information von Energieversorgungsunternehmen, Stadtwerken und auf Fachveröffentlichungen zurück. Auch diese Spektren können nicht identisch sein mit der Realität, da sie nicht auf Totalinformation beruhen, sie zeichnen aber relativ zuverlässig den für Variationsrechnungen benötigten Spielraum auf.

Im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse werden zunächst die wichtigsten Einflußgrößen herauskristallisiert. Daraufhin werden die Varianten entworfen. Für einzelne Größen wird dabei das in der Praxis übliche Korrekturverfahren eingesetzt, d. h. es wird durch Zu- und Abschläge eine möglichst plausible Variationsbreite ermittelt.

Bei der Ergebnisfindung ist es vorteilhaft, die Analyse durch Ermittlung kritischer Werte zu ergänzen. Bei den kritischen Werten einer Investition handelt es sich um Höchst- oder Mindestwerte einer in die Rechnung eingehenden Größe, bei denen sich die Investition gerade noch lohnt /5.34-5.36/. Hier werden die kritischen Werte der Anschaffungsinvestition (anlegbare Kosten) und der kritische Energiepreis (anlegbarer Preis) ermittelt. Diese kritischen Werte werden sowohl aus statischer Sicht als auch aus dynamischer Rückbetrachtung erfaßt. Bei vorausschauenden dynamischen Kostenrechnungen wird die kritische Ölpreissteigerungsrate ermittelt, die zur Kostengleichheit zwischen konventionellen (Ölkesseln) und innovativen Systemen (Wärmepumpen) führt.

Bei der Darstellung der Ergebnisse steht nicht so sehr das exakte Erfassen eines Rechendatums im Vordergrund, sondern das zuverlässige Erfassen der Abstufungen bzw. Relationen zwischen zwei Objekten. Aus diesem Grunde werden absolute Kosten nur zur Darstellung der Kostenstrukturen der einzelnen Investitionsobjekte herangezogen. Im Mittelpunkt der Analyse steht das Erfassen von Kostenrelationen bzw. der Differenzkosten zweier

Investitionen. Für die Untersuchung der Verbraucherentscheidung ist weniger die absolute Höhe der Einzelkosten von Bedeutung als vielmehr das Herausarbeiten eindeutiger Entscheidungsbereiche. Wenn z. B. sowohl für eine pessimistische Darstellung als auch eine optimistische Darstellung ein System günstiger als ein anderes liegt, so darf zuverlässig die Vorteilhaftigkeit dieses Systems angenommen werden.

#### 5.1.7.1 Kritische (anlegbare) Kosten

##### a) statische Rechnung

Die kritischen Kosten für den Investitionsaufwand ( $IN_{Kr}$ ) beim Vergleich zweier Systeme ergeben sich, wenn die Gesamtkosten (GK) unter vorgegebenen Eingabewerten gleich sind.

Werden die Gesamtkosten nach kapitalgebundenen Kosten (KK) und verbrauchsgebundenen Kosten (VK) differenziert, so folgt:

$$GK = KK + VK \quad \text{Gl. 5.25}$$

$$\text{mit } KK = KD + IS \quad \text{Gl. 5.26}$$

$KD$  = Kapitaldienst

$IS$  = Instandhaltungskosten

$$\text{und } VK = EK + WK \quad \text{Gl. 5.27}$$

$EK$  = Energiekosten

$WK$  = Wartungskosten

ergibt sich

$$GK = KD + IS + EK + WK \quad \text{Gl. 5.28}$$

$$\text{Es muß weiterhin gelten } GK_1 = GK_2 \quad \text{Gl. 5.29}$$

$$\text{und } IN \cdot (AF + IZ) = KD + IS \quad \text{Gl. 5.30}$$

$AF$  = Annuitätenfaktor

$IZ$  = Instandhaltungssatz

Daraus folgt

$$GK_1 = GK_2 = IN(AF + IZ) + EK + WK \quad \text{Gl. 5.31}$$

und  $IN_{kr} = \frac{GK_2 - EK + WK}{(AF + IZ)}$  Gl. 5.32

b) dynamische Rechnung

Grundlage der anlegbaren Kosten aus dynamischer Sicht ist zunächst das Vergleichbarmachen der Kosten, die im Betrachtungszeitraum anfallen. Entweder müssen alle Kosten auf das Ende des Betrachtungszeitraumes oder auf das Investitionsjahr bezogen werden. Beide Wege sind möglich. Wählt man das Investitionsjahr als Bezugszeitpunkt, so werden alle laufenden Kosten auf das Bezugsjahr abdiskontiert. Gewählt wird folgende Vorgehensweise: die konstanten kapitalgebundenen Kosten werden über den Diskontierungssummenfaktor nach Gl. 5.3 ermittelt. Die ungleichmäßig steigenden Energie- u. Wartungskosten werden zum Endzeitpunkt einzeln aufdiskontiert, summiert und dann zum Investitionszeitpunkt abdiskontiert. Die anlegbaren Kosten werden dann analog zur statistischen Betrachtung nach Gl. 5.31 errechnet.

5.1.7.2 Kritischer (anlegbarer) Energiepreis

Die Darstellung des anlegbaren Energiepreises ( $P_{Kr}$ ) vermittelt einen Überblick über den Spielraum zum kalkulierten Energiepreis. Da der Energiepreis sich ständig ändert, kann er nur statisch als anlegbarer Preis ermittelt werden, eine geschlossene Lösung ist bei dynamischer Betrachtung nicht möglich.

Die Gesamtkosten des zunächst betrachteten Einzelsystems sind:

$$GK_1 = EK + WK + KD + IS \quad \text{Gl. 5.33}$$

Mit  $EK = p \cdot m$  Gl. 5.34

$p$  = Energiepreis

$m$  = Energiemenge

$$\text{und} \quad GK_1 = GK_2 \quad \text{Gl. 5.35}$$

$$\text{folgt} \quad GK_2 = p \cdot m + WK + KD + IS \quad \text{Gl. 5.36}$$

$$p_{kr} = \frac{GK_2 - WK - KD + IS}{m} \quad \text{Gl. 5.37}$$

Die hier dargestellte Ermittlung des anlegbaren Preises bezieht sich auf alle anfallenden Kosten, sie unterscheidet sich teilweise von anderen Vorgehensweisen /5.37/.

### 5.1.7.3 Kritische Ölpreissteigerungsrate

Die kritische Ölpreissteigerungsrate wird für den Vergleich der elektrischen Wärmepumpen mit dem Ölkessel ermittelt, sie ist das Ergebnis einer dynamischen ex-ante Rechnung über Betriebszeiträume von 10, 15 und 20 Jahren. Die kritische Ölpreissteigerungsrate ist erreicht, wenn die Kosten des Ölkessels den Kosten der Wärmepumpe entsprechen.

Die zugrundegelegten Kosten sind die Aufwendungen für ein Heizsystem im 1. Betriebsjahr. Sie werden vom Beginn des Betrachtungszeitraumes bis zum Ende aufgezinst. Für ein System (A) fallen folgende Kosten im 1. Betriebsjahr an:

1. EK = Energiekosten
2. KP = Kapitalkosten
3. IS = Instandhaltungskosten
4. WK = Wartungskosten

Zum Ende des Betrachtungszeitraumes erhält man

Energiekosten	$K1 = EK \cdot EWFD$	Gl. 5.38
Kapitalkosten	$K2 = KP \cdot EWFS$	Gl. 5.39
Instandhaltungskosten	$K3 = IS \cdot EWFS$	Gl. 5.40
Wartungskosten	$K4 = WK \cdot EWFD$	Gl. 5.41

Darin bedeuten:

- a) EWFD = Endwertfaktor einer gleichmäßig wachsenden Zahlungsreihe (vgl. Gl. 5.13)
- b) EWFS = Endwertfaktor einer Zahlungsreihe mit gleichbleibenden Gliedern (Gl. 5.11)

Die Summe der aufgezinsten Kosten (KS) beträgt dann

$$KS = K_1 + K_2 + K_3 + K_4 \quad \text{Gl. 5.42}$$

Für das Vergleichssystem wird analog verfahren:

$$CS = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \quad \text{Gl. 5.43}$$

Die kritische Ölpreissteigerungsrate erhält man, wenn die Differenzkosten (DK) zwischen beiden Systemen gleich null werden

$$DK = KS - CS = 0 \quad \text{Gl. 5.44}$$

Die Ermittlung der kritischen Ölpreissteigerungsrate erfolgt indirekt über die Differenzkosten, weil eine Auflösung nach der Ölpreissteigerungsrate formal nicht möglich ist. Die Preissteigerungsrate werden durch Näherung mit einer Schrittweite der Preissteigerungsrate von 0,1 errechnet.

#### 5.1.7.4 Darstellungsarten

##### a) Relation der Kosten zweier Vergleichssysteme

Bild 5.8 zeigt die Kostenrelation zweier Heizsysteme im Vergleich über den Betrachtungszeitraum 1972 - 1984. Die Relationen sind aufgrund statischer Rechnungen ermittelt worden. Die obere Grafik zeigt die Kostenrelationen, wenn nur Energiekosten einbezogen werden, das untere Diagramm, wenn alle Kosten

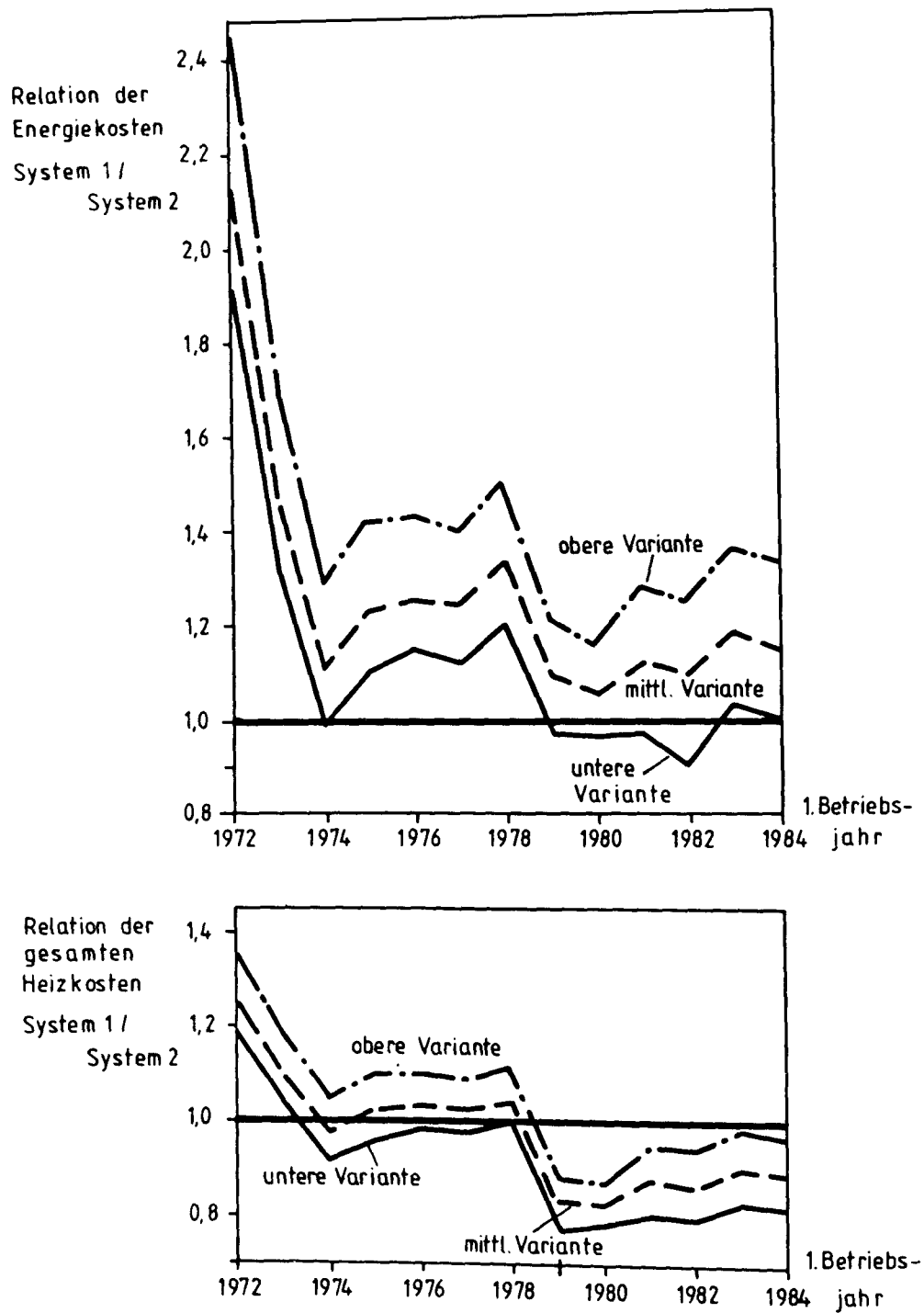


Bild 5.8: Typische Darstellung des Kostenvergleichs zweier Heizsysteme über relative Kosten (Energiekosten, gesamte Heizkosten)

einschließlich Baunebenkosten berücksichtigt werden. Durch die Einbeziehung des Spektrums von Energiekosten bis zu gesamten Kosten wird ein breiter Entscheidungsspielraum abgedeckt. Er berücksichtigt die Entscheidung nur nach Energiekosten bis hin zur vollständigen Planer-Rechnung nach VDI 2067.

b) Differenzkosten

Während die relativen Kosten den qualitativen Vergleich zweier Systeme wiedergeben, ermöglicht die Ermittlung der Differenzkosten eine quantitative Einschätzung zum Geldwert des jeweiligen Jahres, wenn statische Rechnung vorausgesetzt wird (s. Bild 5.9). Durch Einbeziehung extremer Varianten wird der Entscheidungsspielraum im gesamten Versorgungsgebiet sowohl von der Beurteilung nach Energiekosten als auch nach gesamten Heizkosten möglich. Bezieht man in die Betrachtung eine längere Nutzungszeit der Vergleichssysteme (dynamische Rechnung) ein, so läßt sich gut die Einschätzung der Entscheidung nach statischer Rechnung durch das dynamische Nachvollziehen bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes charakterisieren.

Die dynamischen Differenzkosten werden ermittelt durch Aufzinsen aller Kosten bis zum Ende des Betrachtungszeitraumes, durch anschließendes Abdiskontieren auf das Investitionsjahr sowie abschließendes Dividieren durch die Anzahl der Jahre.

c) Absolute Kosten

Die Darstellung absoluter Kosten dient in erster Linie der Analyse der Verschiebungen der Kostenstrukturen durch unterschiedliche Entwicklungen der Investitionskosten bzw. Energiekosten im Vergleich zweier Systeme (s. Bild 5.10). Dabei werden jeweils für das Versorgungsgebiet typische Situationen ausgewählt.



Differenzkosten Energie  
System 1 - System 2

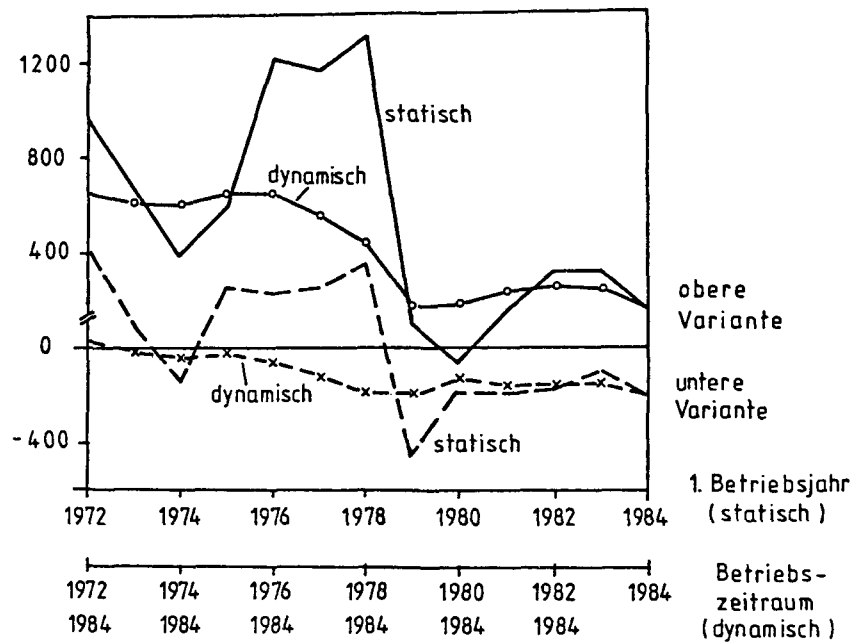
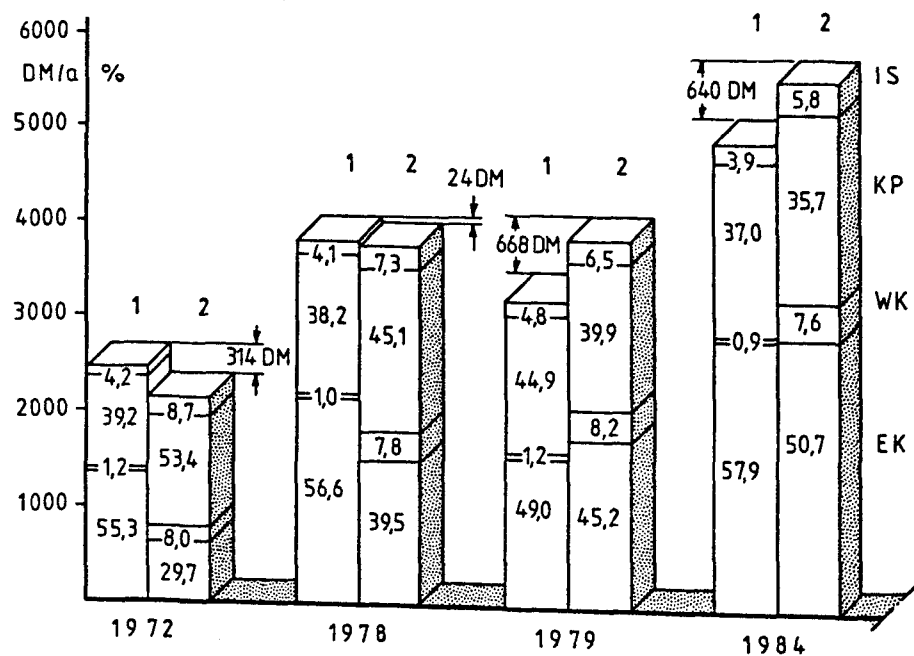


Bild 5.9: Typischer Kostenvergleich zweier Heizsysteme über Differenzkosten bei statischer und dynamischer Betrachtung

Heizkosten und Heizkostenstruktur im 1. Betriebsjahr



1 = System 1 ; IS = Instandhaltungskosten  
2 = System 2 ; KP = Kapitalkosten  
WK = Wartungskosten  
EK = Energiekosten

Bild. 5.10: Vergleich zweier Heizsysteme aus der Sicht der Veränderungen der Kosten bzw. Kostenstrukturen

## 5.2 Analyse der ökonomischen Eingabewerte für Investitionsrechnungen

Bei der Untersuchung der Eingabewerte für Investitionsrechnungen ist vorrangig nach Preisen und Kosten zu differenzieren. Einfluß auf die Energiepreise nehmen die Preisbildungsgesetze auf dem Energiemarkt, die Tarifgestaltung sowie die Unternehmenspolitik des entsprechenden Versorgungsunternehmens. Die Analyse der Kosten erfolgt nach der Art der Kostengruppen, d.h. nach Investitionskosten, Instandhaltungskosten und Wartungskosten. Zu berücksichtigen sind Randbedingungen wie Subventionen über besondere Förderprogramme bzw. Steuererleichterungen. Zur Problematik der Kosten gehört auch die Festlegung eines Kalkulationszinssatzes bzw. die Annahme von Nutzungsdauern und Instandhaltungssätzen.

### 5.2.1 Energiepreise

#### 5.2.1.1 Preisbildung in der Energiewirtschaft

Preisbildung bezeichnet - unter der Voraussetzung einer marktwirtschaftlichen Wirtschaftsordnung - in der Regel einen gesamtwirtschaftlichen (makroökonomischen) Vorgang. Das Zusammentreffen von Angebot und Nachfrage (von Preisforderungen und Preisgeboten für bestimmte Leistungsmengen) auf dem Markte führt zu einem Preis als derjenigen Wertfixierung, die den Austausch von Leistungen ermöglicht /5.38/.

Die Preisbildung auf dem Energiesektor erfolgt nicht auf einem einheitlichen Markt, sondern auf mehreren, weitgehend voneinander unabhängigen Teilmärkten für Primärenergie und auf den Endverbrauchermarkten (Märkte für Endenergien) /5.39/:

#### Primärenergie-Märkte

Erdöl

Erdgas

Steinkohle

Braunkohle

Uran

### Endenergiemärkte

- Wärmeversorgung
- Fahrzeugantrieb
- Verwendungen in Form von Elektrizität  
(auch Wärmeversorgung)
- Stahlerzeugung

Auf den Primärenergiemärkten gibt es weder weltweit noch national einen freien Wettbewerb aller Energieträger. Charakterisiert man die Vollkommenheit bzw. Unvollkommenheit eines Marktes bzw. des Wettbewerbes durch Marktformen, so erhält man das in Bild 5.11 dargestellte Marktformenschema. Die größte Wettbewerbsintensität liegt bei vollständiger Konkurrenz vor, wenn sowohl von der Nachfrage als auch vom Angebot viele kleine Wettbewerber auftreten /5.40/.

Die Wettbewerbsintensität wird neben der Anzahl der Wettbewerber durch staatliche Interventionspolitik auf den Gebieten der Energiepolitik, des Steuerrechtes, der Wettbewerbspolitik und der Umweltpolitik beeinflusst /5.41-5.47/.

Angebot \ Nachfrage			
	viele Kleine	wenige Mittelgroße	ein Großer
viele Kleine	vollständige Konkurrenz	Angebots-Oligopol	Angebots-monopol
wenige Mittelgroße	Nachfrage-oligopol	bilaterales Oligopol	beschränktes Angebots-monopol
ein Großer	Nachfrage-monopol	beschränktes Nachfrage-monopol	bilaterales Monopol

Bild 5.11: Marktformen

Nach den Kriterien Marktform bzw. Wettbewerb läßt sich die Situation auf den Primärenergiemärkten folgendermaßen umreißen /5.39/.

- Erdöl: Kartell der OPEC (Organisation erdöl-exportierender Länder),
- Erdgas: Ausrichten nach dem Preisführer Heizöl,
- Steinkohle: oligopolistisches Angebot auf dem deutschen Markt bei gleichzeitiger Kontingentierung der Einfuhr bzw. Subventionierung der Inlandsproduktion,
- Braunkohle: bilaterales Monopol,
- Uran: oligopolistisches Angebot auf dem Weltmarkt,

Die Situation auf dem Wärmemarkt für Raum- und Prozeßwärme läßt sich nach den Angebotsbedingungen der Wettbewerbsenergien wie folgt darstellen /5.39/:

- Heizöl: Wettbewerb zwischen konzerngebundenen und freien Händlern,
- Erdgas: örtliche und regionale Angebotsmonopole der zumeist kommunalen Versorgungsunternehmen, die ihrerseits von wenigen Ferngasunternehmen beliefert werden,
- Elektrizität: technisch und wirtschaftlich bedingt (Vorhaltung einer ausreichenden Leistung; Vermeidung der Doppelverlegungen von Leitungen usw.) verfügt jedes EVU über ein geschlossenes, durch Demarkationen gesichertes örtliches oder regionales Versorgungsgebiet.

#### 5.2.1.2 Mineralöl (Heizöl)

Die Bundesrepublik Deutschland ist bei Mineralöl zu etwa 95 % von Importen abhängig. Ein Viertel des Bedarfs wird durch Import von Mineralölprodukten (z. B. Heizöl) gedeckt, der größte Teil wird jedoch als Rohöl eingeführt. Damit bestimmen die Einstandspreise frei Grenze wesentlich die Preisgestaltung

der Mineralölprodukte nach Verarbeitung in den Raffinerien. Das Mißverhältnis zwischen eigenem Aufkommen und Ölverbrauch ist typisch für die wichtigsten Ölverbrauchsländer, eine weitgehend internationale Organisation des Mineralölgeschäfts war die Folge /5.54/.

Die Organisation des nationalen Mineralölmarktes wird im wesentlichen durch 7 große Raffineriegesellschaften, unabhängige Handelsunternehmen sowie etwa 11 000 Heizölhändlern übernommen /5.60/.

#### 5.2.1.2.1 Preisbildung

Bei der Preisbildung für Mineralöl bzw. Heizöl ist also zwischen internationalen Rahmenbedingungen und nationalen zu unterscheiden. International ist die Preisbildung beim Mineralöl im Betrachtungszeitraum 1972-1984 durch die Preispolitik der Organisation erdölexportierender Länder (OPEC) entscheidend beeinflußt worden. Infolge der monopolistischen Anbieterstruktur fehlt hier das marktwirtschaftliche Element. Bild 5.12 zeigt am Beispiel der Rohölqualität Arabian Light, wie unter dem Einfluß dieses Kartells der Einstandspreis für die Inlandverarbeitung erhöht wurde.

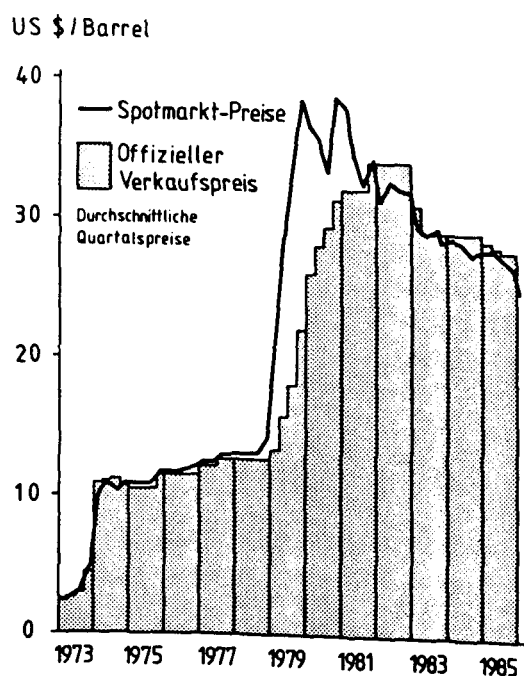


Bild 5.12: Entwicklung des Rohölpreises für Arabian Light  
/5.46/

Neben den Rohölpreisen sind weitere wichtige Faktoren für die Preisbildung aus internationaler Sicht /5.45, 5.51/:

- Währungsrelationen,
- Einfluß des Rotterdamer Marktes,
- weltweite Nachfrage nach Mineralöl,
- weltpolitische Lage.

Aus nationaler Sicht ist die Preisbildung des Mineralöls bzw. des Heizöls durch starken Wettbewerb gekennzeichnet. Tab. 5.2 zeigt die Faktoren der nationalen Preisbildung auf. Die wichtigsten Einflußgrößen sind die Markteinflüsse und die

Markteinflüsse	staatlicher Einfluß	Kosten	staatliche Abgaben
Angebot (Kuppelproduktion) und Nachfrage nach den einzelnen Produkten können auseinanderklaffen, dadurch Einfluß auf die Preise. Firmenwettbewerb, Substitutionskonkurrenz, Einfluß durch Käuferverhalten (private Tanks, freie Wahl des Einkaufszeitpunktes). Einfluß des Rotterdamer Marktes.	Da Marktpreise, kein direkter Einfluß. Rahmenbedingungen durch Staat (Wirtschaftsordnung, Wettbewerbsrecht, Kartellgesetz, Umweltvorschriften, Verstromungsgesetz usw.).	Rohölkosten, Förderkosten, Transportkosten, Verarbeitungs-, Vertriebskosten.	Mineralölsteuer, Umsatzsteuer.

Tab. 5.2: Einflußfaktoren der nationalen Preisbildung beim Mineralöl /5.45/

Kosten, während staatliche Einflußnahme beim hier interessierenden Heizöl von geringer Bedeutung ist. Von der Kostenseite her muß der Rohölpreis als Einstandspreis akzeptiert werden. Von den Markteinflüssen kommt auch national dem Rotterdamer Markt eine Schlüsselrolle zu, weil hier vor allem deutsche Abnehmer zum großen Teil Fertigprodukte wie leichtes Heizöl, Vergaser- und Dieselkraftstoffe beziehen können /5.51/.

Die Wettbewerbsbeziehungen auf dem Mineralölmarkt werden aber auch gut durch die Anzahl der Heizölhandelsbetriebe wiedergegeben. Während 1972 etwa 18000 Unternehmen im Wettbewerb standen, waren es 1980 noch etwa 13000 /5.47/. Dies macht den Wettbewerbsdruck deutlich, in den der Marktführer Mineralöl durch Substitutionskonkurrenz des Erdgases und durch Verbrauchereinschränkungen bzw. Strukturveränderungen geraten ist /5.49, 5.50, 5.63/.

Trotz der Spar-, Substitutions- und Umstrukturierungsprozesse hat der Markt für leichtes Heizöl seine führende Stellung im Mineralölgeschäft behaupten können. Am gesamten Mineralöl-Inlandsabsatz hatte er 1980 einen Anteil von 34.8 % gefolgt vom Motorenbenzin mit 20,1 %. Zu diesem Zeitpunkt entstammten 70 % der inländischen Erzeugung, während etwa 30 % vorwiegend über den Rotterdamer Markt als Endprodukt eingeführt wurden /5.61/.

Infolge der bedeutenden Position des Heizölmarktes kommt ihm auf dem Wärmemarkt eine Leitbildfunktion zu, die trotz der Schrumpfung dieses Marktes noch stärker wurde, da die Position des Marktes für schweres Heizöl, das ebenfalls großen Einfluß auf dem Wärmemarkt (Prozeßwärme) hatte, an Bedeutung verlor /5.62/.

Da die Preisbildung des Heizöls unter Wettbewerbsbedingungen erfolgt, hat der Verbraucher die Möglichkeit, den Einkaufspreis für Heizöl in Grenzen mitzubestimmen, während die Energiepreise für die Substitutionsenergien als Datum hingenommen werden müssen. Durch eigene Vorratshaltung, die durchschnittliche Tankgröße in Ein- u. Zweifamilienhäusern beträgt gut 5 m<sup>3</sup>, kann der Einkaufstermin entsprechend den Marktbewegungen festgelegt werden /5.53/. Die Situation im Versorgungsgebiet der Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerke wird dabei durch 8 Raffinerien, die Versorgung einer Produkten-Pipeline von Rotterdam und durch günstige Transportmöglichkeiten der Ölprodukte aus Rotterdam über Tanklastwagen bzw. Rhein-Tankschiffe charakterisiert. /5.54/.

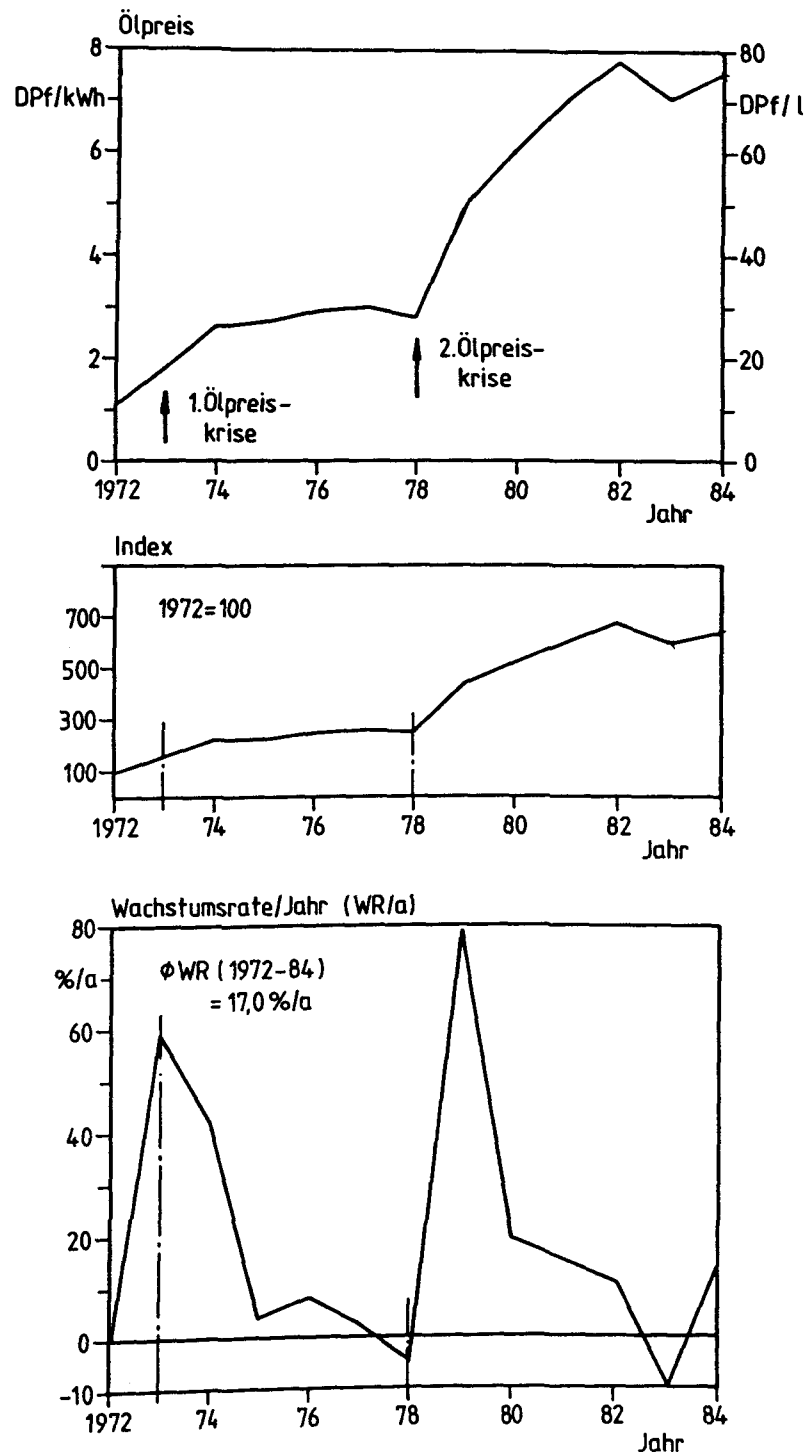


Bild 5.13: Entwicklung des mittleren Preises für leichtes Heizöl bei Abnahmemengen von 5 000 l für Düsseldorf (incl. Mehrwertsteuer) /5.55/



#### 5.2.1.2.2 Eingabewerte

Bei der Ermittlung der Heizölpreise für das vorliegende Versorgungsgebiet spielen 3 Faktoren eine Rolle

- a) der jahreszeitliche Einkaufstermin,
- b) die regionale Differenzierung,
- c) die Abnahmemenge.

Bild 5.13 zeigt zunächst die Entwicklung des mittleren Heizölpreises bei Abnahmemengen von 5000 l für den Berichtsort Düsseldorf. Die Auswirkungen der beiden Ölpreiskrisen werden besonders durch die Wachstumsschübe des Ölpreises in den Jahren 1973/74 bzw. 1979/80 charakterisiert. Im Betrachtungszeitraum hat sich der Heizölpreis fast um den Faktor 7 erhöht (s. Indexentwicklung, während die durchschnittliche Wachstumsrate etwa 17,0 %/a betrug.

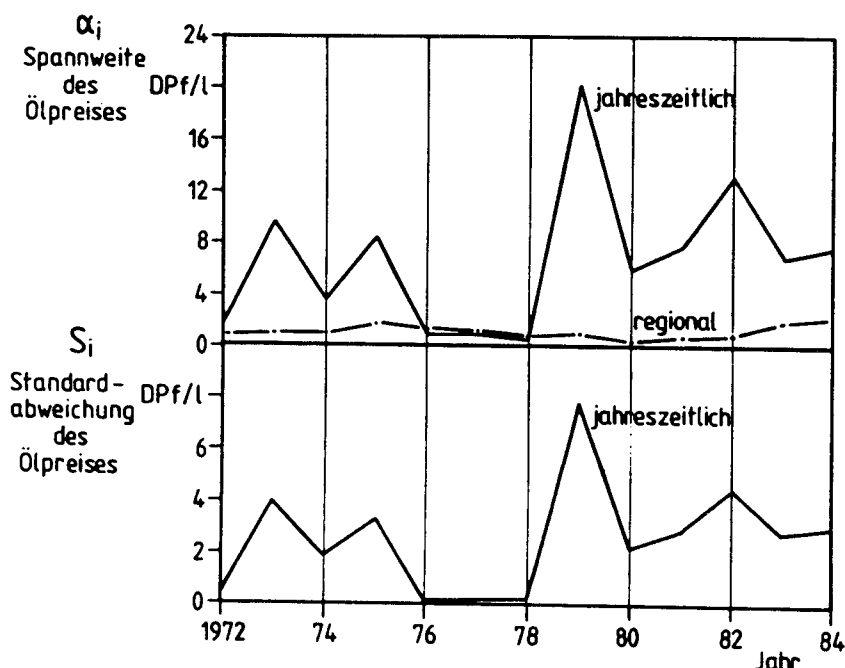


Bild 5.14: Jahreszeitliche Schwankungen (Quartalswerte) des Heizölpreises und ihre Standardabweichung für Düsseldorf sowie regionale Spannweiten zwischen den Orten Düsseldorf, Hannover und Frankfurt /5.55/

Von großer Bedeutung für die Einschätzung der Heizölpreise ist der jährliche Einkaufstermin. In Bild 5.14 ist die gesamte Spannbreite auf der Basis von Quartalswerten für Düsseldorf dargestellt. Naturgemäß waren die Schwankungen besonders stark bei Einleitung der beiden Ölpreiskrisen. Gegenüber der Spannbreite gibt die Standardabweichung eine bessere Einordnung der Gewichte der Quartalswerte.

Die obere Grafik des Bildes 5.14 charakterisiert die Spannbreite des durchschnittlichen Heizölpreises für die Bereiche Düsseldorf, Hannover und Frankfurt, die im Zentrum bzw. in den Randzonen des Versorgungsgebietes des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes liegen. Gegenüber den jahreszeitlichen Schwankungen ist der Einfluß regionaler Preisabstufung gering.

Aus den Bildern 5.15 und 5.16 geht der Einfluß der Mindermengenabnahme gegenüber üblichen Bestellungen von ca. 4000 - 5000 l hervor. Mit der ersten Ölpreiskrise 1973 wurde die im Bild 5.15 dargestellte Preisstaffelung eingeführt. Die Zuschläge wurden im Zeitraum 1979 - 1984 unverändert in absoluter Höhe ermittelt /5.56/. Bild 5.16 zeigt die Situation, wie sie sich im Jahre 1984 für 3 willkürliche Zeitpunkte ergab. Diese Ergebnisse stimmen gut mit Bild 5.15 überein. Sie machen zugleich deutlich, daß der Mindermengenzuschlag im Bereich üblicher Abnahmemengen im Ein- und Zweifamilienhausbereich von 2000 - 5000 l relativ unbedeutend ist. Erst über diesen Punkt hinaus setzt eine starke Progression ein.

Für Variationsrechnungen wird der Durchschnittspreis nach Bild 5.13 unter Berücksichtigung der Standardabweichung nach Bild 5.14 eingesetzt. Regionale Aspekte und Mindermengenzuschläge bleiben unberücksichtigt. Dies gilt auch für Wärmepumpen mit Ölzusatzkessel, da Angaben über Tankgrößen und das Einkaufsverhalten für diesen Spezialfall nicht vorliegen.

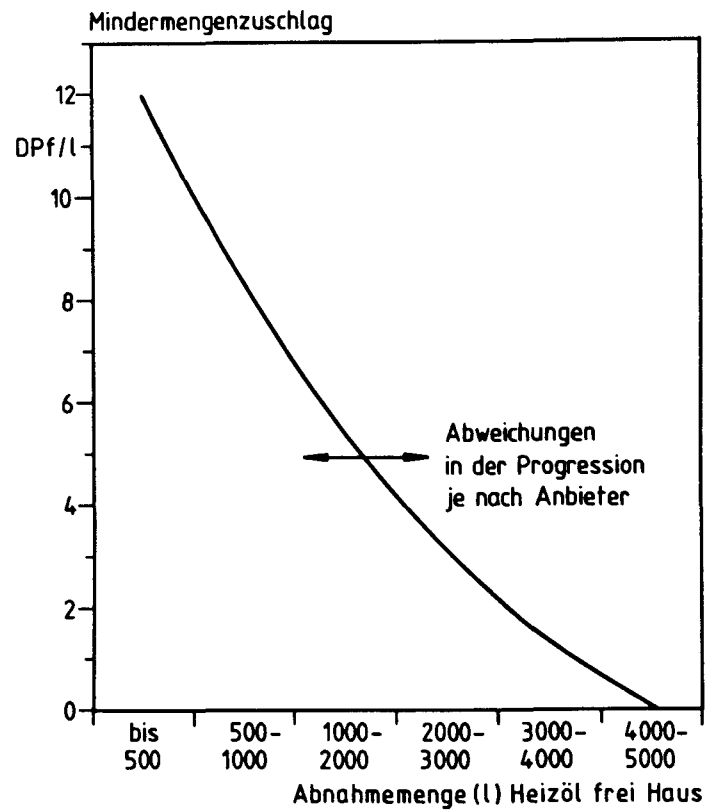


Bild 5.15: Durchschnittliche Aufschläge für Heizöl bei Minder-mengenabnahme gegenüber 4000 - 5000 l (1973 - 1984) /5.56/

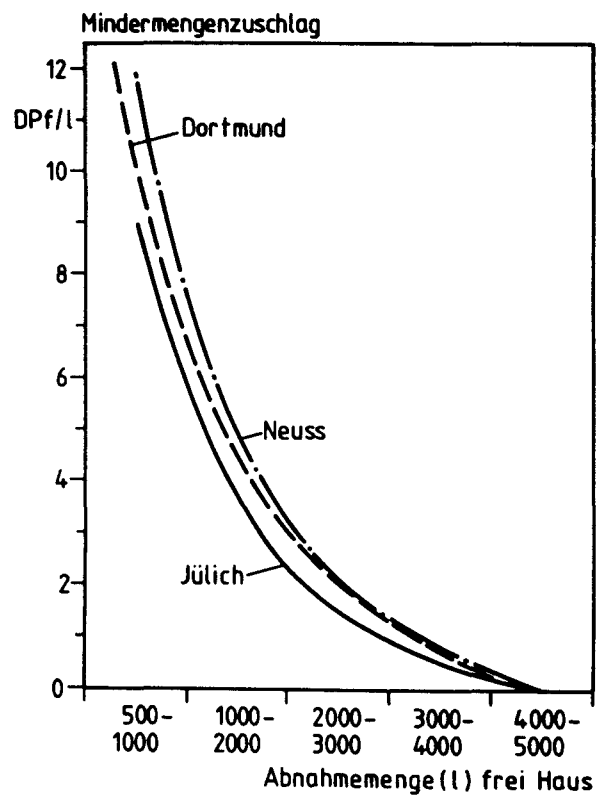


Bild 5.16: Mindermengenzuschläge dreier Anbieter für Heizöl gegenüber Abnahmemengen von 4000 - 5000 l im Jahre 1984 /5.57-5.59/

### 5.2.1.3 Erdgas und Flüssiggas

#### a) Erdgas

Bild 5.17 gibt einen Überblick über die Organisationsstruktur der deutschen Gaswirtschaft bzw. über die von den einzelnen Stufen abgesetzten Energiemengen /5.64/. Von in- und ausländischen Fördergesellschaften geht der Weg über Ferngasgesellschaften, die Ortsgasunternehmen bzw. Großkunden versorgen. Die Ortsgasunternehmen beliefern die Endverbraucher im Sektor Haushalte und Kleinverbrauch. Während 1972 noch etwa 60 % der Naturgase (Erd- und Erdölgas) inländischer Produktion entstammten,

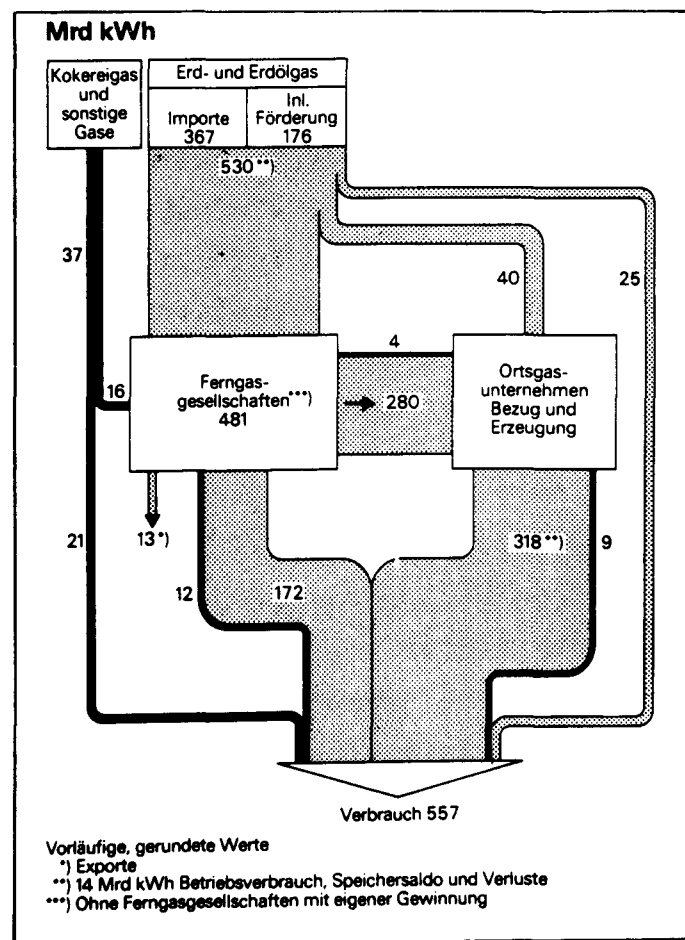


Bild 5.17: Gaswirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland  
1984 /5.64/

wuchs die Abhängigkeit des stark expandierenden Gasmarktes von Importen bis 1984 von 38 % auf etwa 68 % /5.64, 5.66/. Ortsgasunternehmen sind mit wenigen Ausnahmen im Besitz der öffentlichen Hand (Städte, Gemeinden). Ihre Verkaufsgebiete sind genau abgegrenzt, d. h. der Verkauf wird in einem bestimmten Gebiet nur von **einer** Gesellschaft durchgeführt, um Doppelinvestitionen für Rohrleitungen zu vermeiden /5.65/.

Ein wesentliches Charakteristikum dieser kommunalen Energieversorger (Stadtwerke) ist das häufig mehrschienige Energieangebot, d.h. neben Erdgas wird auch Fernwärme und Strom an Endverbraucher abgegeben. Damit kann innerhalb des Versorgungsgebietes in zeitlicher und absoluter Form Einfluß auf die Preisrelationen dieser Wettbewerbsenergieträger genommen werden.

#### b) Flüssiggas

Flüssiggas (LPG = Liquefied Petroleum Gas) besteht zum größten Teil aus Propan und Butan und wird als Nebenprodukt direkt bei der Erdölgewinnung oder später bei der Aufbereitung in den Raffinerien gewonnen. Während die Hauptmengen auf dem deutschen Flüssiggasmarkt bisher aus der Raffinerieproduktion stammten, ist zukünftig mit steigenden Mengen aus der Aufbereitung sogenannten Gaskondensats aus der Nordsee zu rechnen.

Die Produktion des Flüssiggases ist direkt mit dem Mineralölgeschäft gekoppelt, nur kleine Mengen werden über den Markt in Rotterdam bezogen. Der Handel liegt bei unabhängigen Handelsgesellschaften. Infolge der engen Beziehung zum Mineralölgeschäft gab es jedoch von Anfang an eine direkte Preisbindung des Flüssiggases zum Wettbewerbsenergieträger Heizöl /5.67, 5.87 - 5.91/.

#### 5.2.1.3.1 Preisbildung

##### a) Erdgas

Das internationale Erdgasgeschäft wird von den Ferngasgesellschaften abgewickelt, die teilweise im Zusammenschluß der deutschen Nachfrager (Ferngasgesellschaften) bzw. mit europäischen Partnern bei den großen Förderländern einkaufen. Die Verträge der Gaswirtschaft mit den Förderländern sind durch Langfristigkeit und Preisanpassungsklauseln an das Mineralöl gekennzeichnet. Die Ferngasgesellschaften schließen mit ihren inländischen Vertragspartnern wiederum langfristige Verträge mit Preisanpassungsklauseln ab. Dieser Anpassungsmechanismus setzt sich letztlich bis zum Endverbraucher fort, der auch in der Regel langfristig an einen Lieferanten gebunden ist.

Die Preisanpassungsklauseln zwischen Ferngasgesellschaften und Ortsgasunternehmen sind auf dem deutschen Markt nicht einheitlich aufgebaut. Während sie jedoch zu Anfang der sechziger Jahre weitgehend vom schweren Heizöl bestimmt wurden, geht heute die Anpassung bis hin zu 100 % an das leichte Heizöl /5.62/. Auch die zeitliche Anpassung an veränderte Situationen wurde z. B. bei kommunalen Versorgern sehr unterschiedlich gehandhabt /5.68/.

Nach der Bundestarifordnung "Gas" ist jedes Gasversorgungsunternehmen verpflichtet, für den Haushalts- und Kleinverbrauchsbereich zwei allgemeine Tarife anzubieten. Diese sind der sogenannte Kleinverbrauchstarif (Kochen, Warmwasser) und der Grundpreistarif (Warmwasser, Heizen). Daneben können Sonderverträge angeboten werden /5.69-5.71/.

Bild 5.18 zeigt die Tarifpreise der genannten Verträge in Abhängigkeit einer Mengenzuordnung. Heizgas für Etagenheizung und Zentralheizung in Ein- und Zweifamilienhäusern ist dabei den allgemeinen Sonderverträgen zuzuordnen.

Die Vertragspreise ergeben sich durch einen festen monatlichen Grundpreis bzw. einen Arbeitspreis. Für den hier interessierenden Ein- und Zweifamilienhausbereich kann dabei von einheitlichen Werten ausgegangen werden /5.70, 5.72/.

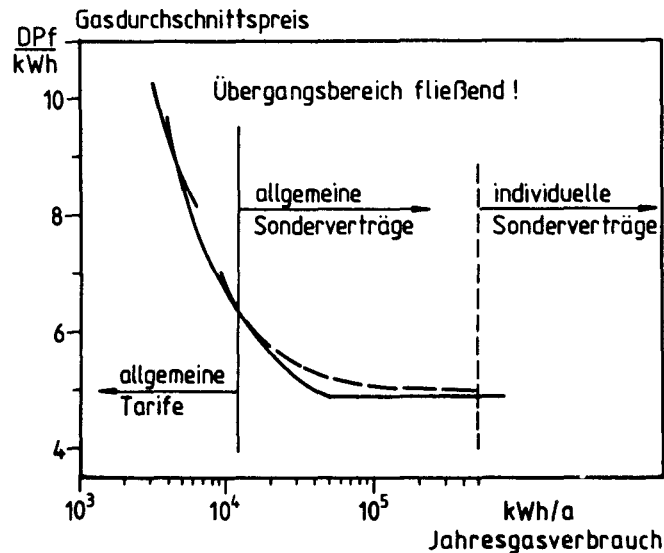


Bild 5.18: Preiskurven der Allgemeinen Gastarife und eines zusätzlichen allgemeinen Sondervertrags für Gasvollversorgung mit Mindestpreisregelung im Rahmen eines mengenabhängigen Grundpreissystems. Die gestrichelte Linie kennzeichnet den Verlauf der Preiskurve des vorgeschalteten Allgemeinen Tarifs /5.71/

Für die Preisgestaltung der Tarife des Erdgases waren lange Zeit weniger Kostengesichtspunkte als Wettbewerbsgesichtspunkt des Substitutionsenergieträgers Erdgas im Wärmemarkt maßgeblich, später wurde aus der Wettbewerbsklausel auch zunehmend eine Kostenklausel /5.37, 5.73/.

Die Preise wurden so gesetzt, daß sie vom Verbraucher als konkurrenzfähig erachtet werden konnten. Ziel vieler Ortsgasunternehmen war es, bei der Gestaltung des Vollversorgungspreises den Arbeitspreis möglichst nahe an die Grenzkosten heranzuführen und den Grundpreis auf ein möglichst hohes Niveau anzuheben /5.74, 5.75/.

Für die Ermittlung des grenzkostennahen Arbeitspreises werden unterschiedliche Methoden genannt /5.37, 5.75/. Gemeinsam ist diesen Methoden jedoch, daß bei strikter Einhaltung des Prinzips der Anlegbarkeit Erdgas gegenüber Heizöl mit einem Wärmepreisaufschlag (Premium) hätte verkauft werden müssen, tatsächlich ist die Preisgestaltung in der Praxis sehr unterschiedlich verlaufen /5.75-5.77/.

b) Flüssiggas

Für Flüssiggas gilt das Prinzip der Anlegbarkeit in Analogie zum Erdgas, im Gegensatz dazu werden jedoch sowohl die Heizölpreise als auch die Flüssiggaspreise im wesentlichen von den Mineralölgesellschaften bestimmt.

5.2.1.3.2 Eingabewerte

a) Erdgas

Die Energiepreisbildung für Erdgas im Versorgungsgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes wird durch mehrere Ferngasgesellschaften und eine Vielzahl von Ortsgasversorgern geprägt. Da die Gasversorgung in diesem Gebiet von der Übernahme alter Stadtgasnetze bis hin zu völlig neu erschlossenen Gebieten sukzessive ausgebaut wurde, sind die Konditionen der verschiedenen Ortsgasunternehmen mit den Ferngasgesellschaften sehr unterschiedlich. Anfang der sechziger Jahre konnten günstige Konditionen auf der Basis von Festvereinbarungen an die Ortsgasversorger weitergegeben werden, Mitte der sechziger Jahre wurden laufenden Verträge (z. B. mit Holland) revidiert bzw. neue Lieferverträge wurden unter Preisanpassungsklauseln abgeschlossen, so daß die Verträge mit nun neu hinzukommenden Ortsgasversorgern unter Kostengesichtspunkten abgeschlossen werden mußten.



Infolge dieser Randbedingungen gibt es keine einheitliche Entwicklung des Erdgaspreises. Da die Preisentwicklungen aller Ortsgasunternehmen nicht ermittelbar war, wurde eine Einschätzung nach extremen Entwicklungslinien vorgenommen. Bild 5.19 zeigt für die Stadtwerke Düsseldorf, die im Zentrum des RWE-Versorgungsgebietes liegen und für die Vereinigten Elektrizitätswerke (VEW), Dortmund, die als Flächenversorger das RWE-Gebiet nordwestlich begrenzen, zwei derartige Entwicklungslinien. Nach Einschätzung der Ferngasversorgung repräsentieren diese Entwicklungen die Grenzpfade zwischen Anlegbarkeitsprinzip (Düsseldorf) und preisgünstiger Penetrations-Preisgestaltung (VEW) /5.78/. Zur weiteren Einordnung dieser Preisentwicklungen wurden Durchschnittswerte des Statistischen Bundesamtes sowie Kostenangaben aus Heizkostenvergleichen des Bundesverbandes der Gas- und Wasserwirtschaft e. V., Bonn, in die Grafik eingetragen. Da die Gaswirtschaft nach der Umstellung auf das Internationale Einheitensystem die Preisangabe in kWh bezogen auf den Brennwert einführte, wurden alle Preisangaben einheitlich auf Basis des unteren Heizwertes (Hu) umgerechnet. Sie enthalten Arbeits- und Grundpreis einschließlich Mehrwertsteuer.

Die Reaktion der unterschiedlichen Versorger (Flächenversorger bzw. Stadtwerke) dürfte typisch sein. Der hier beispielhaft genannte Flächenversorger reagierte auf die Ölpreisschübe 1978/79 bzw. 1978/80 jeweils mit 1 - 2 Jahren Verzögerung, während Stadtwerke zurückhaltender in der Preisanpassung waren (2 - 3 Jahre Zeitverzögerung). Die Entwicklungslinien zeigen weiterhin ausgezeichnet den Preisanpassungsmechanismus zwischen Heizöl und Erdgas, dies gilt sowohl für die Preiswachstumsphasen als auch für die Rücknahme des Erdgaspreises 1983 nach dem Rückgang des Ölpreises 1982.

Zur Erfassung des Spektrums möglicher Entwicklungen im Betrachtungszeitraum 1972 - 1984 werden den Rechnungen sowohl die Werte der Stadtwerke Düsseldorf als auch die der Vereinigten Elektrizitätswerke (VEW) zugrundegelegt.

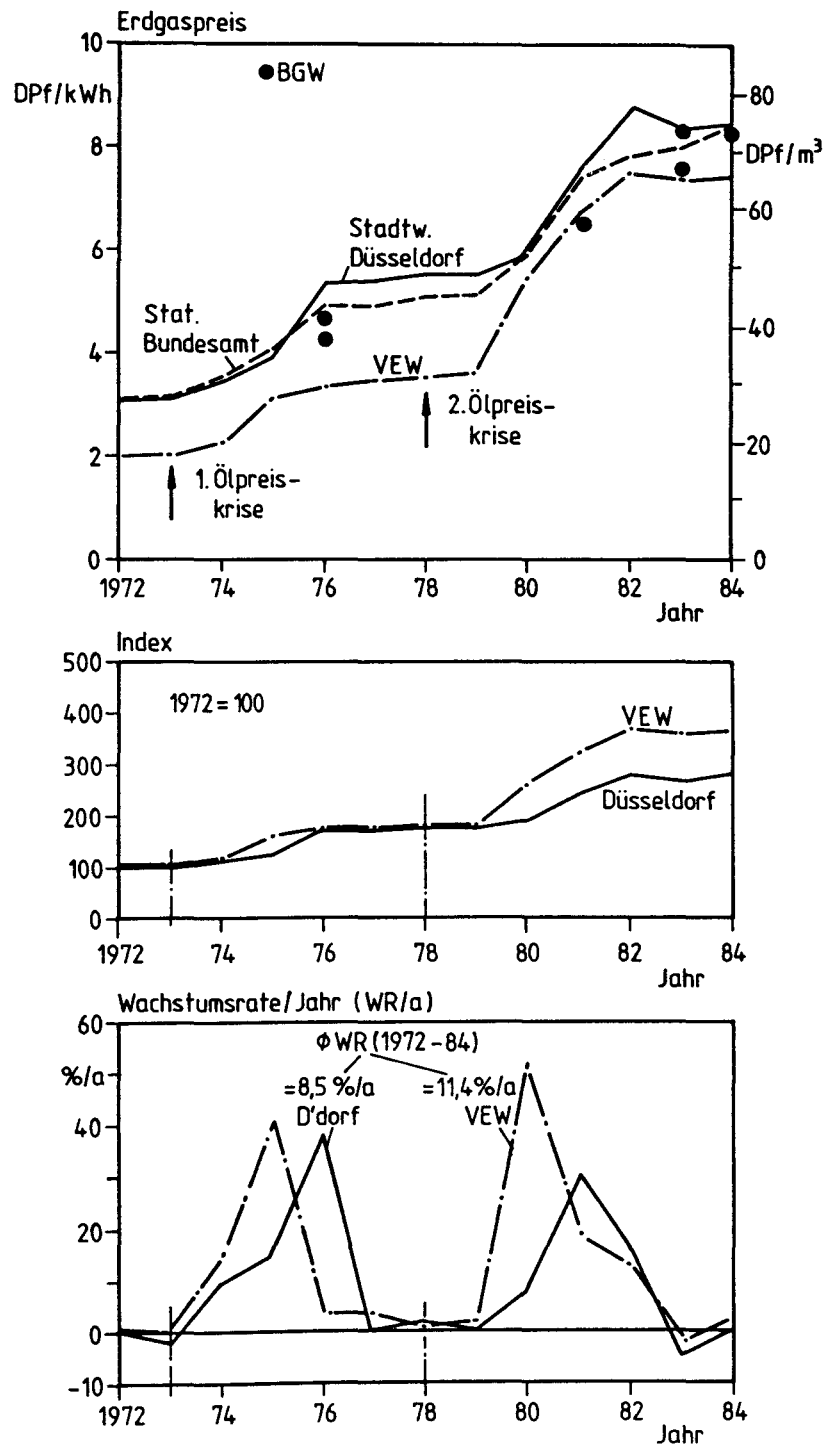


Bild 5.19: Entwicklung des Erdgaspreises für verschiedene Versorgungsgebiete /5.80, 5.83-5.84/ (VEW = Vereinigte Elektrizitätswerke, Dortmund, BGW = Angabe des Bundesverbandes der deutschen Gas- u. Wasserwirtschaft e. V., Bonn) Preisangabe: Arbeitspreis und Grundpreis incl. Mehrwertsteuer, Bezugsbasis: unterer Heizwert ( $H_u$ )

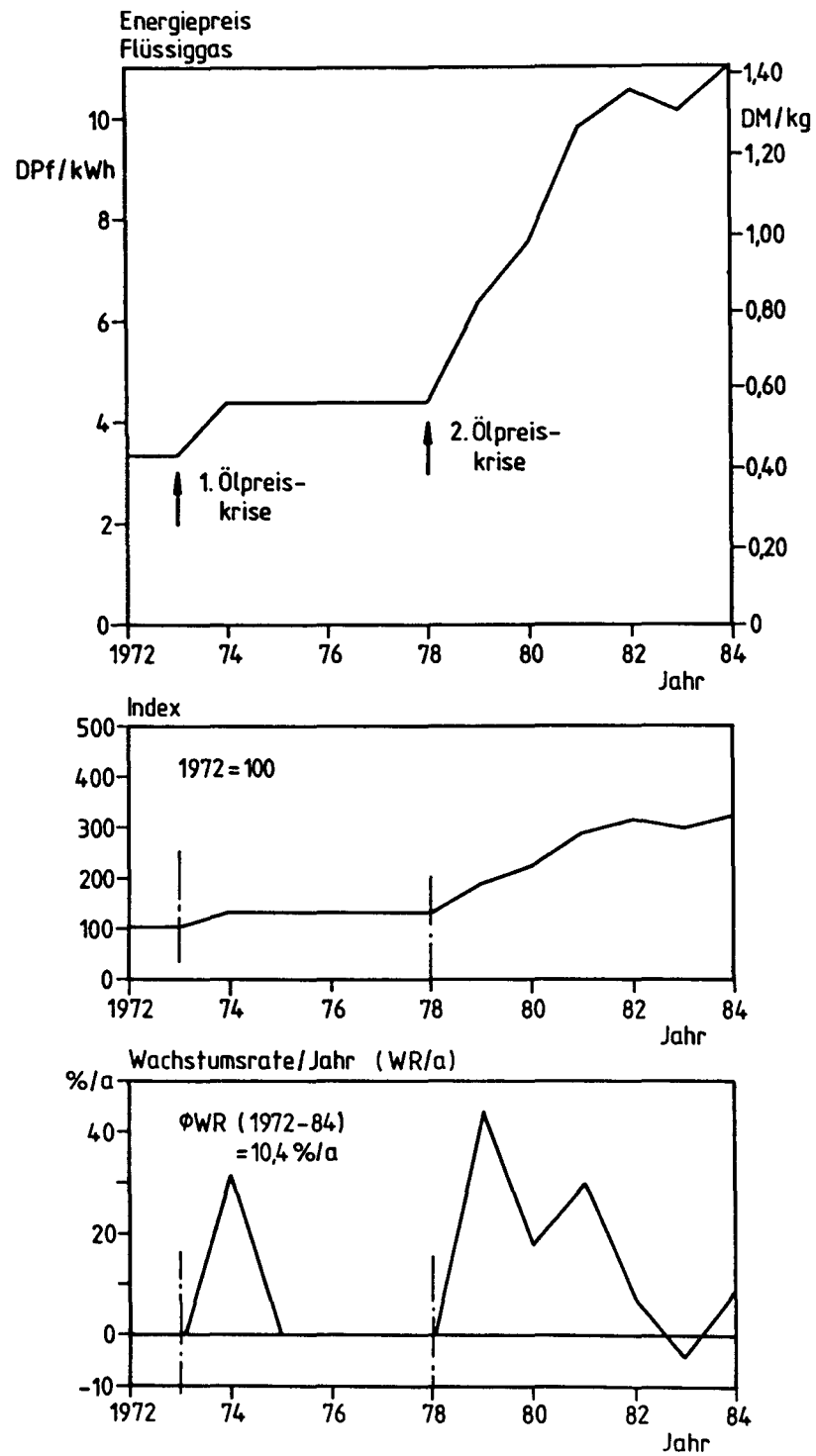


Bild 5.20: Entwicklung des Flüssiggaspreises im Bundesdurchschnitt /5.81/  
 Preisangabe: Energiepreise incl. Tankmiete und Mehrwertsteuer  
 Preisbasis: unterer Heizwert ( $H_u$ )

## b) Flüssiggas

Flüssiggas tritt vor allem in den ländlichen Regionen als Wettbewerber auf, es ist dort, wo gleichzeitig Erdgas angeboten wird, nur von untergeordneter Bedeutung.

Infolge der engen Bindung an den Heizölpreis zeigt die Entwicklung des Flüssiggaspreises eine fast identische Entwicklung wie die des Heizöls. Auf die erste Ölpreiskrise wurde von den Handelsgesellschaften bzw. der Mineralölindustrie mit einem Zeitverzug von einem Jahr reagiert, während die Wachstumsschübe zur zweiten Ölpreiskrise zeitlich identisch mit den Ölpreisschüben erfolgen (s. Bild 5.20).

Die in Bild 5.20 aufgeführten Werte gelten für den Bundesdurchschnitt, sie enthalten Energiepreis, die monatliche Tankmiete und schließen die Mehrwertsteuer ein. Sie werden in dieser Form ohne weitere Differenzierung nach Abnahmekonditionen für den Ein- und Zweifamilienhausbereich berücksichtigt.

### 5.2.1.4 Elektrizität

Die Stromversorgung der Bundesrepublik Deutschland ist nach drei Versorgungsbereichen gegliedert in /5.93/:

- eine öffentliche Elektrizitätsversorgung,
- die industrielle Kraftwirtschaft,
- die Stromversorgung der Deutschen Bundesbahn.

Nur die öffentliche Stromversorgung, die einen Anteil von etwa 80 % an der Stromerzeugung hat, liefert an Dritte (Haushalte, Industrie usw.).

Die öffentliche Elektrizitätswirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland ist mehrstufig organisiert /5.85/. Zu unterscheiden ist zwischen

- Verbundunternehmen,
- Regionalunternehmen,
- Kommunalunternehmen.

Die Verbundunternehmen übernehmen vorrangig die Stromerzeugung und den Stromtransport im Hochspannungsnetz. Die Regionalunternehmen beziehen den Strom größtenteils von Verbundunternehmen und führen in vorwiegend ländlichen Regionen eine Flächenversorgung bis zum Endverbraucher durch.

In größeren Städten, aber auch in kleineren Gemeinden, übernehmen kommunale Unternehmen (Stadtwerke) die Versorgung aller Endverbraucher.

Die Stromversorgung ist international über eine Zusammenarbeit im westeuropäischen Verbundnetz organisiert, wo jahreszeitlich Überschüsse und Engpässe durch Ausgleichslieferungen kompensiert werden können (Österreich, Schweiz).

Die Stromversorgung wird durch folgende Faktoren charakterisiert /5.86/:

- keine Speicherfähigkeit,
- stark schwankender Stromabsatz,
- Auslegung auf Spitzenbedarf incl. Reservevorhaltung,
- Leitungsgebundenheit,
- Kapitalintensität.

Infolge der Kapitalintensität und um den Bau von teuren Parallelleitungen zu vermeiden, sind die Versorgungsgebiete der Elektrizitätsversorgungsunternehmen geschützt. In einem Gebiet ist nur ein Stromversorger zuständig, d. h. er verfügt über ein Gebietsmonopol. Bild 5.21 zeigt die geschützten Versorgungsgebiete der Verbundunternehmen und gibt zugleich einen Überblick über die Flächenausdehnung des RWE-Versorgungsgebietes im Vergleich zu den anderen Verbundunternehmen. Das Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk, Europas größter privater Stromproduzent, nimmt dabei Absatzfunktionen auf allen Stufen der Elektrizitätswirtschaft wahr. Wichtigster Primärenergieträger für die RWE-Stromerzeugung ist die Braunkohle, die im Rheinischen Braunkohlenrevier gefördert wird und zum größten Teil zur Stromerzeugung in RWE-eigenen Wärmekraftwerken eingesetzt wird. In zunehmendem Maße wird die Kraftwerksleistung durch Kernenergie ergänzt. Weiterhin werden Gas, Öl und Steinkohle sowie Wasserkraft zur Stromerzeugung eingesetzt /5.92/. Für die Elektrizitätserzeugung werden somit überwiegend inländische Energieträger eingesetzt.

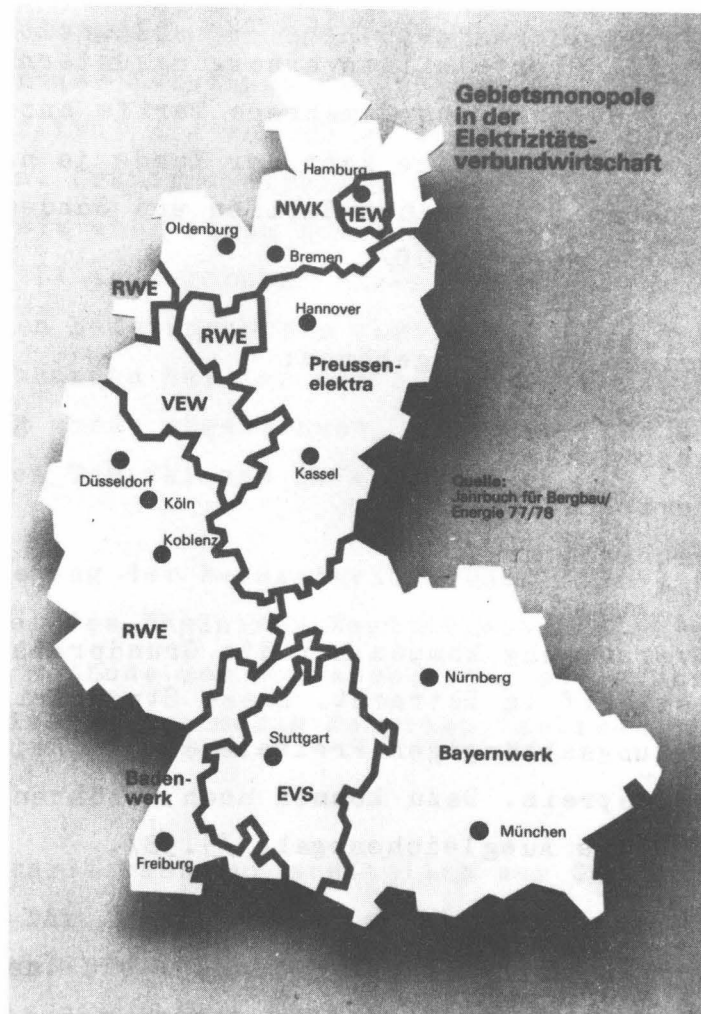


Bild 5.21: Gebietsmonopole in der Elektrizitätsverbundwirtschaft /5.86/

#### 5.2.1.4.1 Preisbildung

Da Elektrizitätsversorgungsunternehmen bei der Belieferung von Dritten ohne Konkurrenz sind, wurde 1971 eine Bundestarifordnung Elektrizität (BTO Elt) beschlossen, die 1974 in Kraft trat /5.94/. Nach § 12 a der BTO Elt sind Tarife und ihre einzelnen Bestandteile Höchstpreise und dürfen nur mit Genehmigung der zuständigen Behörden (Landeswirtschaftsministerium) angehoben werden.

Weiterhin sind die Elektrizitätsversorgungsunternehmen verpflichtet, den Endverbrauchern mehrere Tarife anzubieten (s. Bild 5.22). Üblicherweise kann der Kunde je nach Anwendungszweck zwischen allgemeinen Tarifen und Sondervereinbarungen wählen /5.95 - 5.100/.

Zu den allgemeinen Tarifen gehören:

- Grundpreistarife,
- Kleinverbrauchstarif,
- Schwachlasttarif.

Für die Wärmeversorgung kommen nur die Grundpreistarife bzw. der Schwachlasttarif in Betracht. Diese Stromtarife bestehen aus einem leistungsabhängigen Preiselement und einem brennstoffbezogenen Arbeitspreis. Dazu kommen noch Gebühren für die Meßeinrichtung und die Ausgleichsabgabe /5.98/.

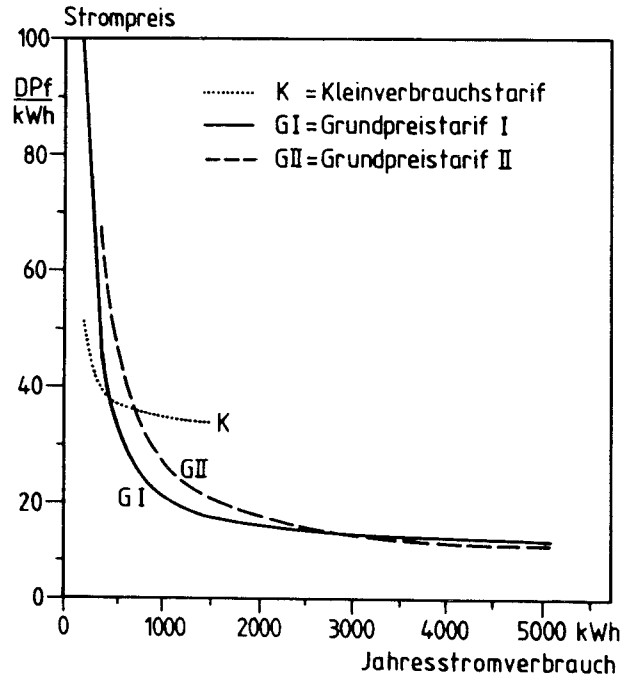


Bild 5.22: Durchschnittspreise in Abhängigkeit von Tarifen bei Stromverbrauch (RWE) /5.96/

Bei den Grundpreistarifen sollen durch den Bereitstellungspreis die fixen Kosten der Leistungsinanspruchnahme und durch den Arbeitspreis (Pf/kWh) die variablen Kosten der Energieerzeugung abgedeckt werden. Grundpreistarif I weist einen niedrigen Bereitstellungspreis aber einen hohen Arbeitspreis auf, während Grundpreistarif II demgegenüber einen verringerten Arbeitspreis mit einem höheren Leistungspreis verbindet. Nach Einschätzung seines Stromverbrauchs hat der Kunde Wahlfreiheit. Nach dieser Wahlentscheidung wurde abgerechnet, auch wenn der Kunde sich in einer ungünstigen Tarifklasse befand.

Im Zuge der Änderung der Bundestarifordnung (1980) wurde im Versorgungsgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes 1981 die Methode der Bestabrechnung eingeführt, wodurch die Nachteile einer mengenmäßig falschen Tarifwahl korrigiert werden /5.97/.

Der Schwachlasttarif kann nur zusätzlich zum Grundpreistarif gewählt werden. Der Arbeitspreis ist hier niedriger als bei den Grundpreistarifen. Die Inanspruchnahme der Schwachlasttarife richtet sich nach der Belastungscharakteristik des Kraftwerk-parks des Versorgungsunternehmens, sie ist vorwiegend auf Nachtstunden beschränkt. Der Grundpreis des Schwachlasttarifs besteht ebenfalls aus Leistungspreis und Arbeitspreis.

Der Schwachlasttarif ist nicht identisch mit dem Schwachlast-Sonderabkommen, das außerhalb des Tarifangebots von Elektrizitätsversorgungsunternehmen zur Förderung der Speicherheizung entwickelt wurde. Auf diese Sonderpreisregelungen besteht kein Anspruch, sie können vom einzelnen Versorgungsunternehmen nur im Rahmen ihres Lastmanagements gewährt werden.

Die Sonderabkommen für Speicherheizungen wurden zum Auffüllen der Nachttäler in der Belastungscharakteristik angeboten. Da hier Leistungskosten ohnehin anfallen, werden nur zusätzliche Arbeitskosten berücksichtigt, die niedriger als beim Schwachlasttarif liegen.



Für den Betrieb von Wärmepumpen spielt das Element Zeit ebenfalls eine wichtige Rolle. Für Wärmepumpen, die ohne zeitliche Einschränkung betrieben werden, kann ein Zuschlag zum Bereitstellungspreis verlangt werden. Mit der Novellierung der BTO Elt im Jahre 1980 gab es hier eine Änderung, die Berechnung des Zuschlages zum Bereitstellungspreis entfällt für /5.101/:

"bivalent-alternativ betriebenen Wärmepumpen, bei denen das EVU berechtigt ist, den Elektrizitätsbezug an Tagen, an denen die Außentemperatur  $+3^{\circ}\text{C}$  unterschreitet, oder bei eventuellen Versorgungsengpässen im Netz über eine zentrale Steuerung (Rundsteuerung) zu unterbrechen,

Wärmepumpen, bei denen das EVU berechtigt ist, den Elektrizitätsbezug nicht länger als jeweils 2 Stunden hintereinander und insgesamt nicht länger als 6 Stunden innerhalb von 24 Stunden über eine zentrale Steuerung zu unterbrechen, wobei die Betriebszeit zwischen zwei Sperrzeiten nicht kürzer als die vorangegangene Sperrzeit sein darf (monovalent-unterbrechbarer Betrieb).

Zusätzlich zum gewählten Tarif kann für Wärmepumpen zur Raumheizung im Haushalt der Schwachlasttarif gewählt werden."

Zuvor gab es für Wärmepumpen keine einheitliche Regelung auf Tarifbasis. Einige Versorgungsunternehmen forderten bei uneingeschränktem Betrieb einen Zuschlag, während andere davon absahen.

#### 5.2.1.4.2 Eingabewerte

##### 5.2.1.4.2.1 Nachstromspeicherheizung

Bild 5.23 zeigt die Entwicklung des Energiepreises für Nachstromspeicherheizungen für verschiedene Versorgungsgebiete. Die Preise berücksichtigen den Arbeitspreis nach Schwachlastsonder-

abkommen für Heizstrom, die Verrechnungspreise für Zähler und Schaltuhr sowie die Ausgleichsabgabe und die Mehrwertsteuer.

Alle Kurven des westdeutschen Erzeugungsraumes liegen unter der Durchschnittskurve des Bundesgebietes nach Erfassungen der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW). Obwohl die gesamte Erzeugungsstruktur beim Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk (RWE) günstiger ist als bei den Vereinigten Elektrizitätswerken (VEW), kommt dies bei der Preisgestaltung für Nachtstrompreise nicht zum Ausdruck /5.106/. Hier spielt eine wesentliche Rolle, daß der forcierte Einsatz der Nachtspeicherung vom nächtlichen Lastausgleich zum nächtlichen Lastanstieg in der RWE-Lastcharakteristik führte (1972). Daraufhin wurde durch preispolitische Maßnahmen der Anreiz reduziert.

Die Stadtwerke Düsseldorf liegen etwa auf gleicher Höhe der RWE-Preise. Zwischen beiden Unternehmen gibt es eine stromwirtschaftliche Zusammenarbeit, die 1982 durch eine Beteiligung des RWE an den Stadtwerken erweitert wurde /5.102/.

Der Verlauf aller Kurven in Bild 5.23 ist sehr einheitlich. Zwischen 1974 und 1980 gab es jedoch einen größeren Unterschied in den absoluten Preisen.

Auch die Zuwachsraten des Nachtstrompreises zeigen eine Orientierung am Wettbewerbsenergieträger Heizöl, die Wachstumsschübe des Nachtstroms folgten dem Heizöl etwa mit 2 Jahren Zeitverzögerung. Da Nachtstrompreise nach Sonderabkommen gewährt werden, blieb den Unternehmen marktwirtschaftlicher Spielraum ohne Preisaufsicht.

Für die Rechnungen werden im gesamten Ein- und Zweifamilienhausbereich die für das Versorgungsgebiet repräsentativen RWE-Preise unterstellt.

Eine weitere Differenzierung der Preise, z. B. durch Berücksichtigung von Nachladezeiten im täglichen Schwachlastbereich ist nicht notwendig, da im Betrachtungszeitraum die Inanspruchnahme des reinen Nachttarifs von 80 % (1972) auf etwa 100 % (1984) aus Gründen der RWE-Charakteristik notwendig war /5.103/.

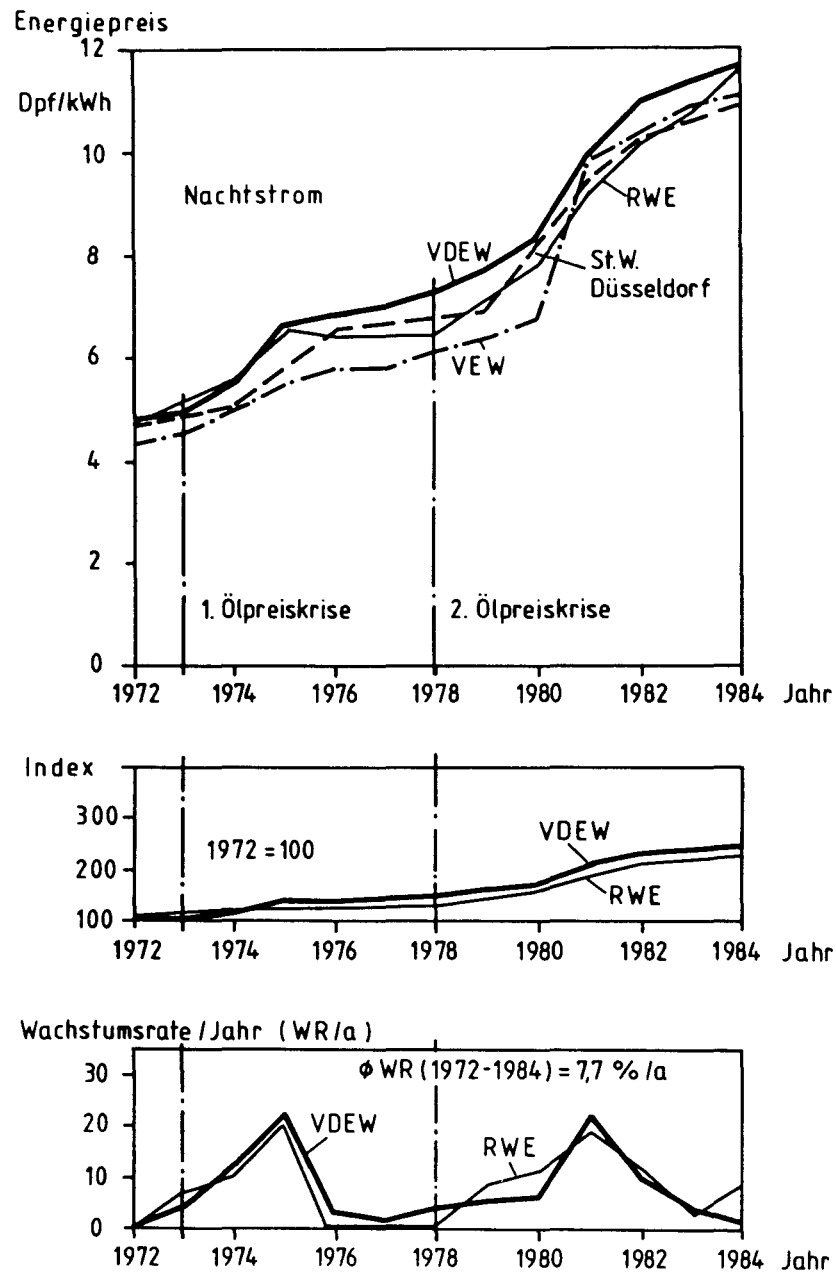


Bild 5.23: Entwicklung des Endverbraucherpreises für Nachtstrom für verschiedene Versorgungsgebiete /5.81, 5.83-5.84, 5.103/  
RWE = Rheinisch-Westf. Elektrizitätswerk, Essen  
VEW = Vereinigte Elektrizitätswerke, Dortmund  
VDEW = Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke Frankfurt  
Preisangabe: Arbeitspreis einschl. Verrechnungspreise, Ausgleichsabgabe und Mehrwertsteuer

#### 5.2.1.4.2.2 Wärmepumpen

Für Wärmepumpen gibt es erst mit der Novellierung der Bundestarifordnung Elektrizität im Jahre 1980 eine verbindliche Tarifgestaltung. In dem Zeitraum zuvor war es möglich, im Rahmen von Sondervereinbarungen Preisregelungen zu treffen. Grundsätzlich orientierte sich die Preisgestaltung jedoch am Grundpreistarif II /5.104/. Zu berücksichtigen sind der Arbeitspreis, die Verrechnungspreise für Zähler und Schaltuhr sowie die Ausgleichsabgabe und die Mehrwertsteuer.

Der vom Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk angebotene Wärmepumpenpreis weicht bei der Arbeitspreisgestaltung etwas von dem Arbeitspreis des Tarifs II ab. Es wird zu 80 % aus einem Tarif für Normalwärmebedarf (tagsüber) und zu 20 % aus beanspruchter Schwachlastzeit errechnet.

In Bild 5.24 sind die Entwicklungen der Strompreise (Tarif II) nach der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) bzw. des RWE-Wärmepumpenstrompreises dargestellt. Die Indexentwicklung und die Wachstumsraten beziehen nur die VDEW-Preise ein. Sie zeigen jedoch, daß auch der selbstkostenorientierte und der Tarifaufsicht unterliegende Strompreis des Grundpreistarifs II auf Bewegungen des Ölpreises reagiert hat, wenn auch in abgeschwächter Form.

Den Rechnungen wird der RWE-Wärmepumpenstrompreis zugrundegelegt. Da das Rheinisch-Westfälische Elektrizitätswerk auch vor der Novellierung der Bundestarifordnung Elektrizität keinen zusätzlichen Bereitstellungspreis bei uneingeschränktem Betrieb verlangte, kann für die gewählten Wärmepumpensysteme (nach 1980 Auslegung nach Sperrzeiten) mit einer einheitlichen Preisgestaltung für den gesamten Ein- und Zweifamilienhausbereich gerechnet werden.

#### 5.2.1.4.2.3 Strom für Hilfsantriebe

Alle Heizsysteme benötigen für Hilfsantriebe wie z. B. Umwälzpumpen elektrische Energie. Der Strompreis für diese Energie

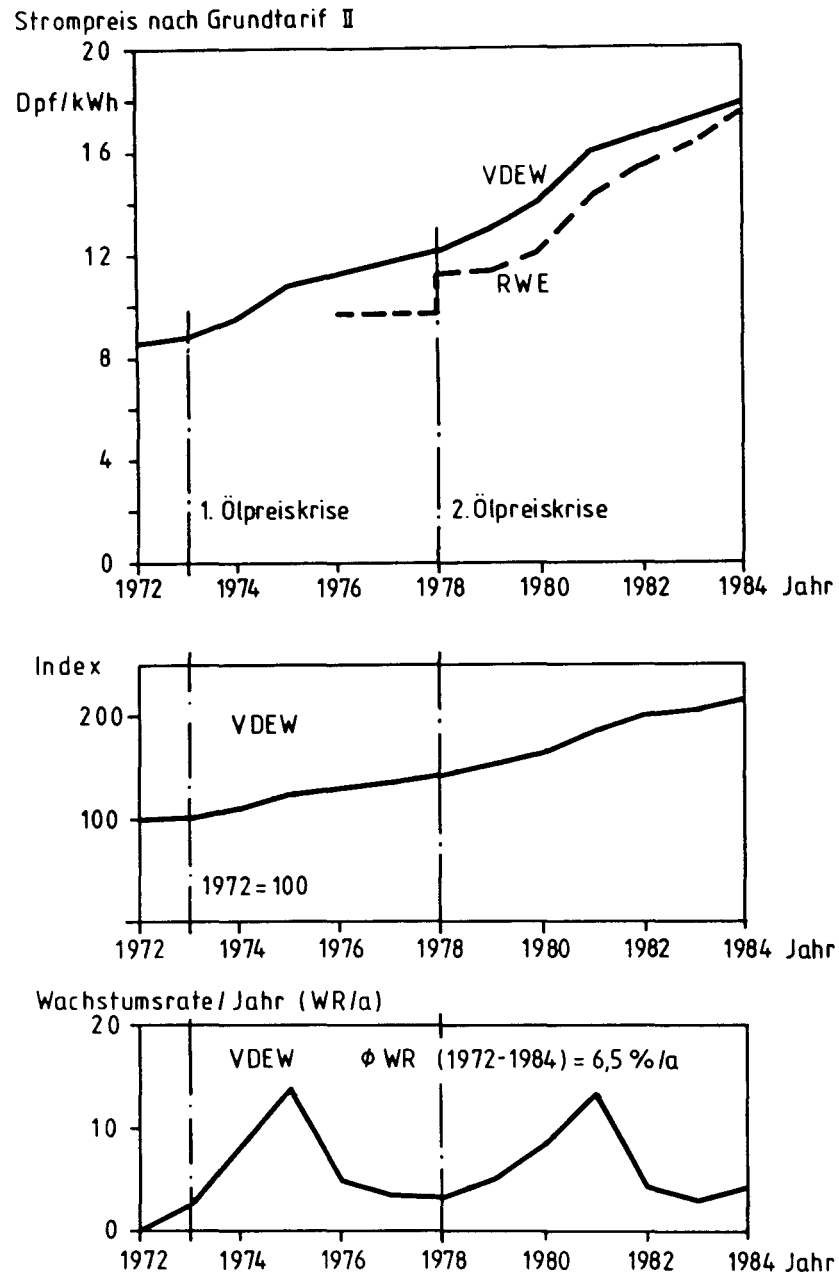


Bild 24: Entwicklung des Strompreises nach Grundpreistarif II bzw. des RWE-Wärmepumpenstrompreises /5.81, 5.103/  
 Abk.: RWE = Rhein.-Westf. Elektrizitätswerk, Essen  
 VDEW = Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke, Frankfurt  
 Preisangabe: Arbeitspreis incl. Verrechnungspreise, Ausgleichsabgabe und Mehrwertsteuer

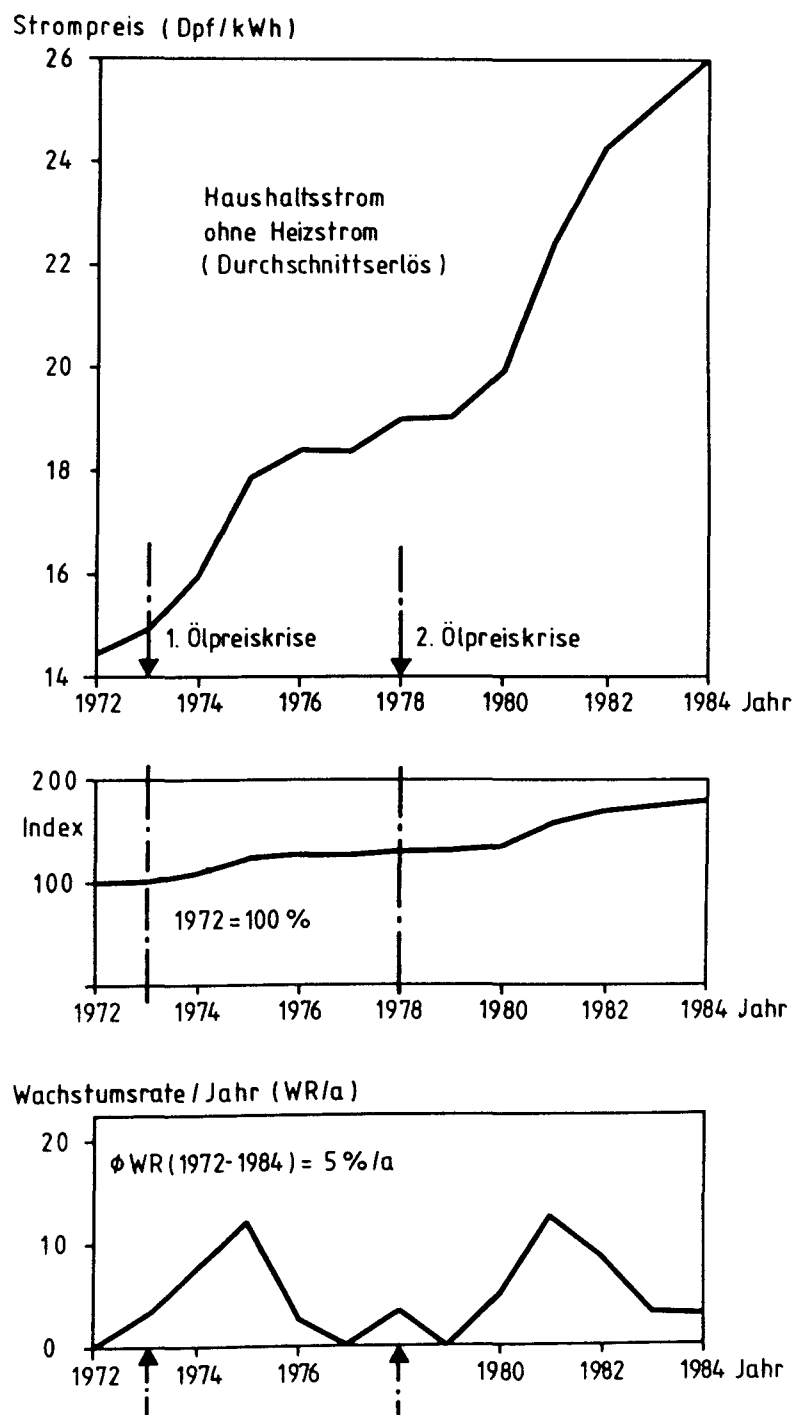


Bild 5.25: Entwicklung des Haushaltsstrompreises aus Durchschnittserlösen /5.105/  
Preisangabe: Arbeitspreise incl. Mehrwertsteuer

wird aus Durchschnittserlösen der Elektrizitätswirtschaft bestimmt, so wird in erster Näherung der Vielfalt der möglichen Preise bei Haushalten mit recht unterschiedlicher elektrischer Versorgung Rechnung getragen. Da bei diesen Durchschnittserlösen Heizstrom nicht berücksichtigt wird, sind es Durchschnittswerte der allgemeinen Tarife ohne Verrechnungspreise (jedoch einschließlich Mehrwertsteuer). Sie zeigen wegen der tariflichen Anbindung eine sehr ähnliche Struktur der Preisentwicklung wie der Grundpreistarif II (s. Bild 5.25).

#### 5.2.1.5 Steinkohle (Breckkoks)

Die Versorgung der Bundesrepublik mit Steinkohle beruht fast ausschließlich auf inländischer Förderung. Importe aus sogenannten Drittländern werden kontingentiert und sind von untergeordneter Bedeutung /5.60, 5.82/.

In der Bundesrepublik wird Steinkohle in vier Regionen gefördert, von denen das Ruhrrevier und das Aachener Revier im untersuchten RWE-Versorgungsgebiet liegen. Die Steinkohlenförderung konzentriert sich auf acht Gesellschaften. Diese Fördergesellschaften vertreiben über Verkaufsgesellschaften an den Kohlen Einzelhandel. Die Schrumpfung von ca. 22 000 Einzelhandelsbetrieben auf etwa 11 000 (1980) kennzeichnet die schwierige Situation der Kohle im Wettbewerb mit den Substitutionsenergien /5.47/.

##### 5.2.1.5.1 Preisbildung auf dem Wärmemarkt

Die Analyse der Preisbildung unterscheidet sich durch die Absatzbereiche Kraftwerke, Stahlindustrie und Wärmemarkt. Während es für Kraftwerkskohle Absatzgarantien und Subventionen gibt, ist die Kohle für den Wärmemarkt zwar gegen Drittländerskohle geschützt, gegen alle anderen Wettbewerber muß sie sich aber ohne direkte Absatzsubventionierung behaupten /5.60/. Die Preisbildung der Kohle orientiert sich weniger an allgemeinen Markt-

entwicklungen als an Kostenentwicklungen. Im Vordergrund der Preisgestaltung stehen die Förderkosten, die etwa zu 50 % von Arbeitskosten abhängen. Neben den Förderkosten spielen aber auch noch die Transportkosten eine wichtige Rolle, dies hat zur schnellen Verdrängung der Kohle in revierfernen Versorgungsgebieten wesentlich beigetragen. Basis der Preisermittlung sind Listenpreise der Verkaufsgesellschaften der einzelnen Steinkohleunternehmen.

#### 5.2.1.5.2 Eingabewerte für Brechkoks III

Exemplarisch für den Einsatz der Kohle im Endverbrauchsbereich Haushalt wird der Einsatz von Brechkoks III behandelt. Bild 5.26 zeigt die Entwicklung für 2 extreme Versorgungsgebiete (Düsseldorf bzw. Frankfurt), die durch die Preisentwicklung im VEW-Versorgungsgebiet (obere Grafik) abgerundet wird /5.55, 5.84/. Die Kurven verlaufen gleichförmig, nur die Unterschiede der Transportkosten führen zu einer Ordinatenverschiebung. Sowohl Indexentwicklung als auch jährliche Wachstumsrate zeigen zwischen Düsseldorf und Frankfurt identische Entwicklungen. Durch die Preisentwicklung des Brechkoks wird aber auch deutlich, daß die Preisbildung neben allgemeinen Kostenentwicklungen auch durch geringe Mitnahmeeffekte gegenüber dem Heizöl geprägt wird. Allerdings ist diese Anpassung an den Marktführer Heizöl im Verhältnis zu den anderen Wettbewerbsenergien relativ schwach ausgeprägt.

Den Rechnungen für das RWE-Versorgungsgebiet werden als Basiswerte die Energiepreise für die Versorgungsorte Düsseldorf und Frankfurt zugrundegelegt, da sie die Transportentfernungen in diesem Gebiet in erster Näherung hinreichend abdecken. Diese Preise werden ohne weitere Differenzierung für den gesamten Ein- und Zweifamilienhausbereich in Ansatz gebracht.



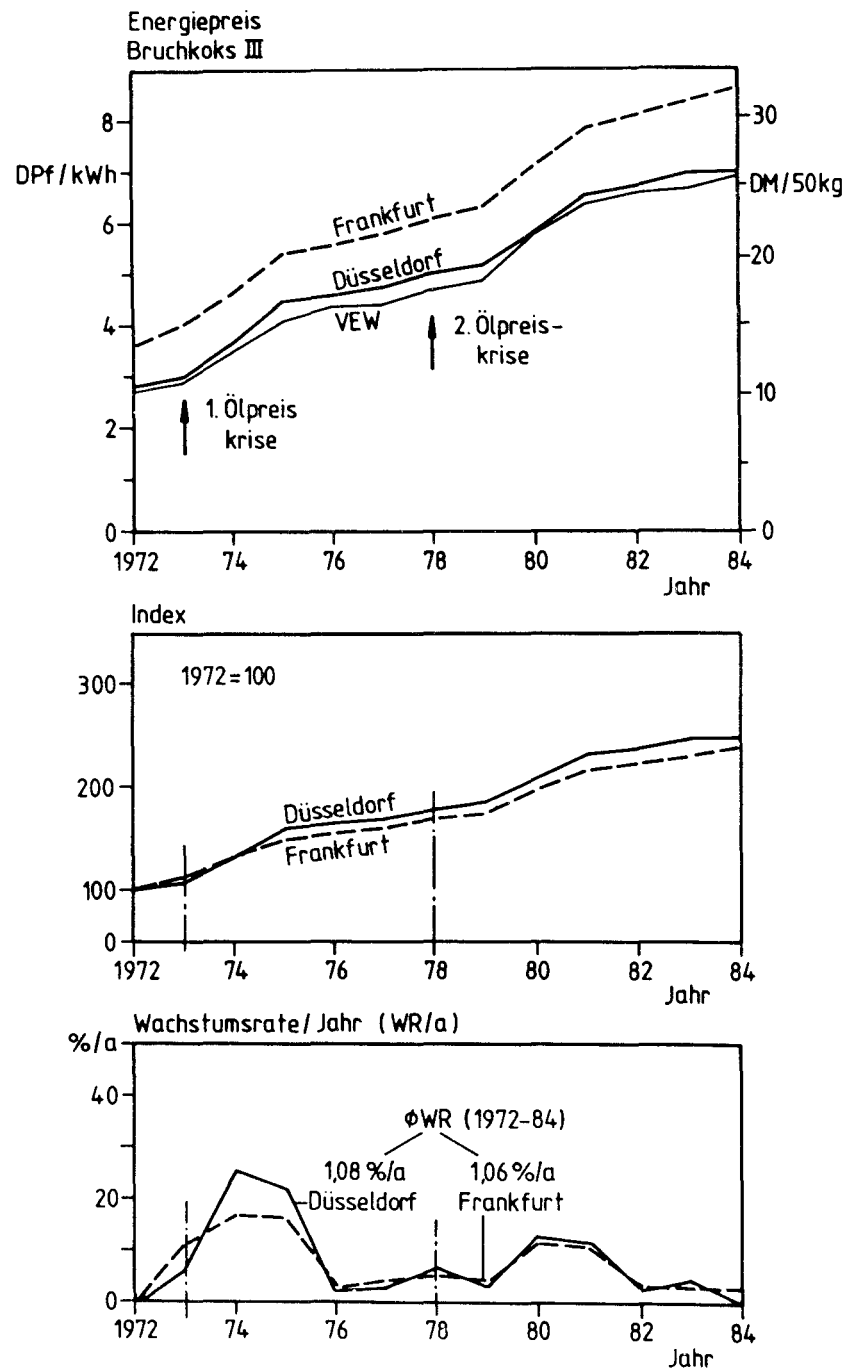


Bild 5.26: Entwicklung des Energiepreises für Brechko III für verschiedene Versorgungsgebiete (VEW: Vereinigte Elektrizitätswerke, Dortmund) /5.55, 5.84/  
- Preisangabe: Energiepreis incl. Mehrwertsteuer  
Abnahmemenge 100 Zentner  
Bezugsbasis: Unterer Heizwert Hu (DPf/kWh)

#### 5.2.1.6 Fernwärme

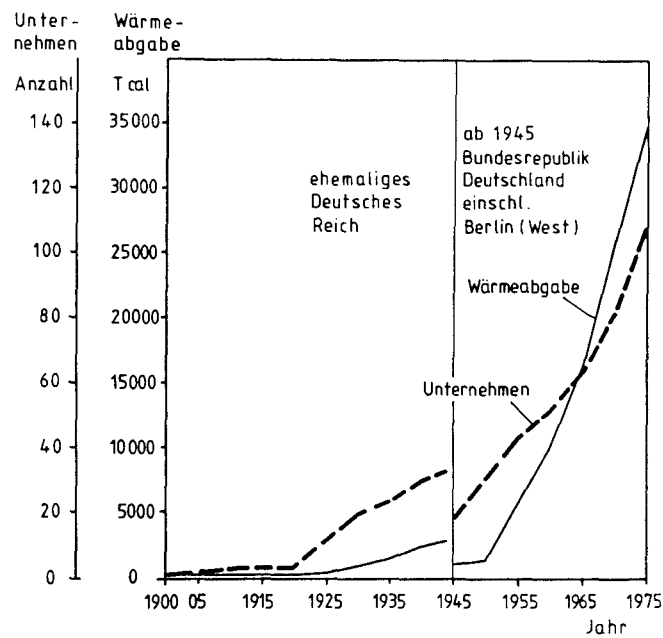


Bild 5.27: Entwicklung der Fernwärmeunternehmen und der Wärmeabgabe seit 1900 bis 1975 /5.107/

Die Anfänge der Fernwärmeversorgung liegen in der Jahrhundertwende. Während bis etwa 1960 die Fernwärmewirtschaft überwiegend in den Händen der kommunalen Versorger lag, kamen danach private Gesellschaften der Kohle- und Mineralölwirtschaft hinzu, die über Heizwerke geschlossene Siedlungsgebiete (Trabantenstädte) versorgten.

1981 betrieben 116 Unternehmen der Fernwärmewirtschaft /5.108/:

117 Heizkraftwerke,  
438 Heizwerke,  
483 Heiznetze.

Die Wärmeeinspeisung aus Heizkraftwerken an der Gesamtwärmeversorgung von 216 000 TJ/a betrug 1981 etwa 80 %, während aus Heizwerken etwa 20 % geliefert wurden.

Stadt	größte Netze bezüglich			Kunden je km Leitung	Anschluß- wert je km Leitung	Anschluß- wert je Kunde
	Kundenzahl	Gesamt- Anschluß- wert	Leitungs- länge			
		Gcal/h	km	Anzahl	Gcal/h	Mcal/h
Wolfsburg	31460			160	1.8	11.5
Dinslaken	31100			115	1.9	16.6
Hamburg		1908		9.5	5.6	591
Berlin		1410		11.0	6.0	549
Hamburg			319	9.5	5.6	591
München			279	15.4	4.9	320

Tab. 5.3: Kennwerte großer deutscher Fernwärmeversorgungsnetze /5.109/

Tab. 5.3 zeigt anhand wichtiger Kennwerte das Spektrum großer Fernwärmenetze auf. Auch innerhalb von Großsystemen gibt es Wärmenetze mit überwiegend geringen Kundenanschlußwerten je Kunde (Wolfsburg, Dinslaken), hier werden vorrangig Haushalte versorgt. Typisch für die Fernwärmeversorgung sind jedoch hohe Anschlußwerte der Kunden (z. B. Hamburg, Berlin). Diese gehören in erster Linie zu Abnehmern aus dem Bereich öffentlicher Einrichtungen und gewerblich-industrieller Betriebe.

Tab. 5.4 zeigt von der reinen Raumwärmeversorgung her, wo die Fernwärmewirtschaft in erster Linie ihre Heizkunden aus der Sicht der Bebauungsstruktur hat /5.110/. Diese Tabelle macht auch deutlich, daß der in dieser Arbeit behandelte Ein- und Zweifamilienhausbereich von der Fernwärme nur in Vororten und Stadtrandgebieten erreicht wird und nur in Ausnahmefällen wie Wolfsburg oder Dinslaken die Abnehmerstruktur wesentlich mitbestimmt.

	Von 100 Haushalten der angegebenen Bebauungsstruktur heizten mit:								
	Kohle/ Koks	Heizöl	Erdgas/ Stadtgas	Flüssig- gas	Strom	Fern- wärme	Son- stige	Summe	davon leitungs- gebun- den
Innenstadt (City, sehr dicht bebaut)	19,1	35,9	24,3	0,4	9,4	9,2	1,7	100	43
Innenstadtnähe (direkte Zeilen- oder Blockbebauung)	13,0	34,4	31,8	0,2	11,1	8,5	1,0	100	52
Vorortzentrum (Ortszentrum, dicht bebaut)	16,3	37,7	25,7	0,2	12,9	5,6	1,6	100	45
Vorort, Stadtrand- gebiet (weniger dichte, gemischte Bebauung)	9,4	49,6	24,1	0,4	9,9	5,5	1,1	100	40
Trabanten- oder Satellitenstadt	4,2	20,0	12,5	0,0	7,0	54,1	2,2	100	74
vorwiegend lockere Ein- und Zweifami- lienhaus-Bebauung	9,6	65,5	9,3	0,8	11,6	0,4	2,8	100	21
weit auseinander- liegende Einzel- häuser (flaches Land)	17,2	54,7	2,6	2,2	14,2	0,2	8,9	100	17
Summe	12,0	48,9	20,1	0,5	11,1	5,3	2,1	100	37

Tab. 5.4: Heizungsstruktur nach Bebauungsdichte  
(Stand 1981) /5.110/

#### 5.2.1.6.1 Preisbildung

Für die Preisbildung der Fernwärme sind folgende Faktoren  
bestimmend /5.111/:

- Art der Wärmeerzeugung  
(Heizwerk, Kraft-Wärme-Kopplung),
- Brennstoffart,
- Größe des Versorgungsgebietes und Abnehmer-  
struktur,
- Kosten des Fernwärmetransportes und der Fern-  
wärmeverteilung,
- Hausanschlüsse,
- Entschädigungs- und Abschlagszahlungen bei  
Umstellungen.

Von der Brennstoffseite her werden in der Fernwärmewirtschaft Heizöl (schwer), Erdgas, Kohle und in geringem Anteil Müll verwendet. 1976 betrug der Anteil der fossilen Energieträger Heizöl und Erdgas an der gesamten Netzeinspeisung ca. 63 %, 1984 waren es noch etwa 45 % /5.112, 5.113/. Damit ist die Fernwärmeerzeugung zu einem großen Anteil von diesen stark verteuerten Energieträgern abhängig.

Die Preisgestaltung der Fernwärme wurde innerhalb des gesamten Betrachtungszeitraumes 1972 - 1984 über Tarife geregelt. Rahmenbedingungen dazu werden seit 1980 über Allgemeine Bedingungen für die Versorgung mit Fernwärme geregelt /5.114, 5.115/.

Der vom Verbraucher zu zahlende Wärmepreis setzt sich aus einem relativ hohen Leistungspreis, der über den Wärmebedarf des Hauses (DIN 4701) ermittelt wird und einem von der Ausnutzungsdauer abhängigen Arbeitspreis zusammen. Die Preiskonditionen werden durch Preisänderungsklauseln mit einer Laufzeit von mindestens 6 Monaten angepaßt, es werden in Anlehnung an die Elektrizitätsversorgung überwiegend Brennstoff-Lohnklauseln verwandt /1.117, 1.126/.

Der vom Verbraucher zu zahlende Wärmepreis wird wie bei der Gasversorgung nach dem Prinzip der Anlegbarkeit ermittelt. Für große Abnehmer erfolgt eine individuelle Rechnung, für kleine Verbraucher wird der Preis pauschal bestimmt. Anlegbarkeit bedeutet bei der Fernwärmepreisermittlung Kostengleichheit der Versorgung mit der günstigsten vergleichbaren Konkurrenzenergie auf Vollkostenbasis /5.118/.

Infolge der veränderten Energiesituation, die der Fernwärme im Energieprogramm der Bundesregierung einen besonderen Rang zuwies, erhält die Fernwärme spezielle Förderungen (z. B. Zukunftsinvestitionsprogramm /5.119/).

#### 5.2.1.6.2 Eingabewerte

Die äußerst unterschiedlichen Randbedingungen der Fernwärmeerzeugung führen zu einem breiten Spektrum der Fernwärmepreise. Bild 5.28 zeigt die Entwicklung der Fernwärmepreise für ein Einfamilienhaus nach seit 1973 jährlich durchgeführten Preisvergleichen der Mitgliedsunternehmen der Arbeitsgemeinschaft Fernwärme, Frankfurt /5.116 - 5.125/. Die Preise enthalten Grund- und Arbeitspreis sowie die Mehrwertsteuer. Sie beziehen sich auf eine Ausnutzungsdauer des Anschlußwertes von 1500 h/a.  $\bar{x}$  stellt den arithmetrischen Mittelwert dar, während S die Standardabweichung angibt. In dem Bereich  $\bar{x} \pm S$  liegen 66 % aller erfaßten Unternehmen. Somit wird nicht die gesamte Spannbreite dargestellt (vgl. Heizöl). Aus der Entwicklung des absoluten Preises bzw. der Wachstumsschübe nach den Ölpreiskrisen wird die starke Abhängigkeit der Fernwärme von den fossilen Brennstoffen Heizöl und Erdgas deutlich. Aufgrund der kurzfristigen Anpassungsklausel folgt die Fernwärmepreisentwicklung relativ schnell den Heizölschüben.

Bild 5.29 erlaubt eine Einschätzung einiger Fernwärmeversorgungsunternehmen, die im bzw. am Rande des Versorgungsgebietes des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes liegen. Bis auf die Preisangaben für Düsseldorf und die Vereinigten Elektrizitätswerke entstammen die Fernwärmepreise dem Fernwärmepreisvergleich der Arbeitsgemeinschaft Fernwärme /5.120 - 5.125/. Die Fernwärmepreise für Düsseldorf und die Vereinigten Elektrizitätswerke wurden internen Statistiken der jeweiligen Versorger entnommen /5.83, 5.84/.

Bild 5.29 zeigt, daß durch die ausgewählten Versorgungsunternehmen die dargestellte Spannbreite aller befragten Unternehmen vollkommen überstrichen wird. Den Rechnungen wird diese Spannbreite unterstellt, dabei wird wie schon bei den anderen Energieträgern keine weitere Differenzierung nach Ein- und Zweifamilienhäusern vorgenommen.

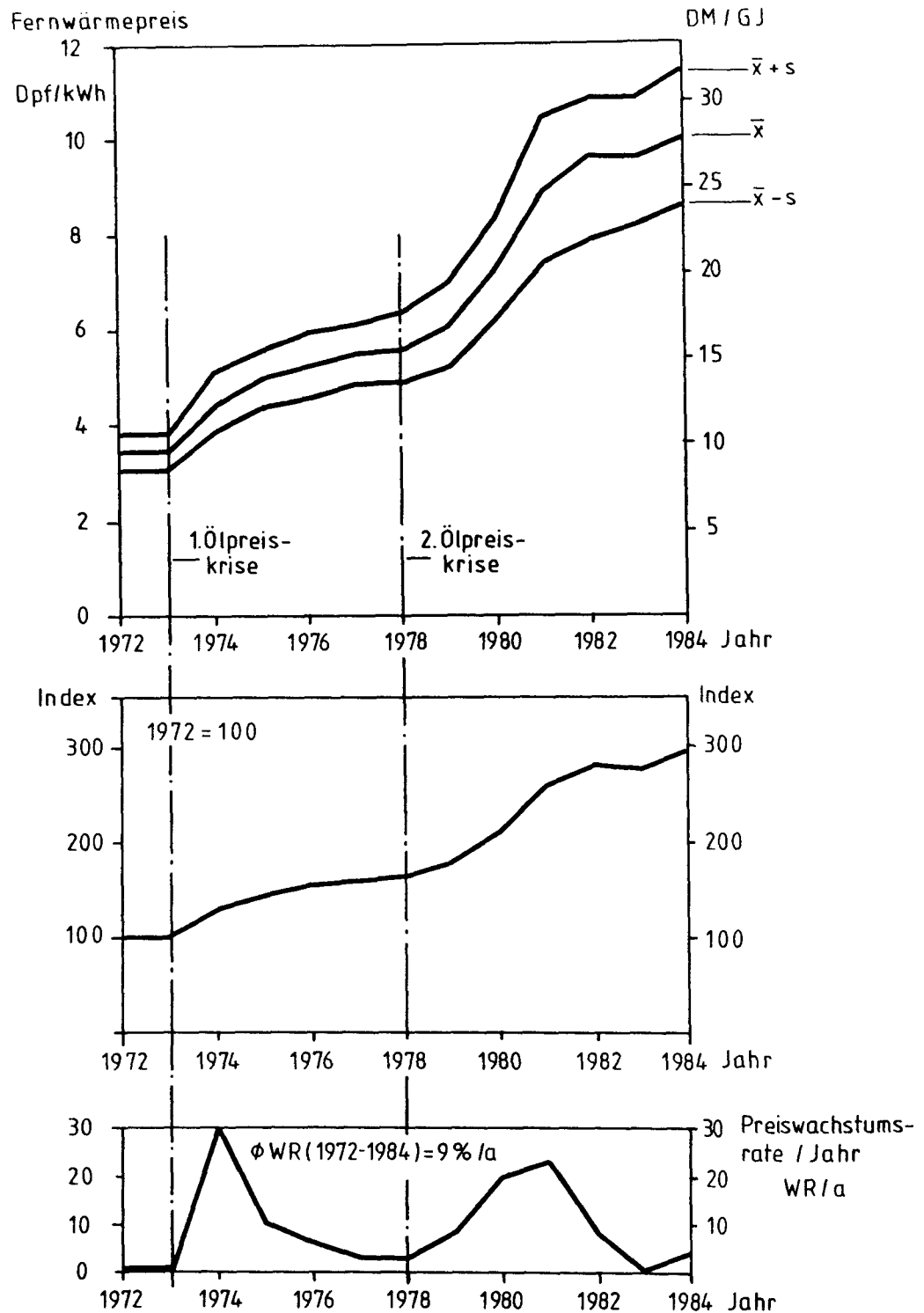


Bild 5.28: Entwicklung des Fernwärmepreises für Einfamilienhäuser nach AGFW /5.120 - 5.125/  
 Preisangabe: Leistungs- u. Arbeitspreis einschließlich Mehrwertsteuer  
 Bezugsbasis: Ausnutzungsdauer 1 500 h/a  
 $\bar{x}$  : Mittelwert aller befragten Unternehmen  
 S : Standardabweichung  
 AGFW: Arbeitsgemeinschaft Fernwärme, Frankfurt

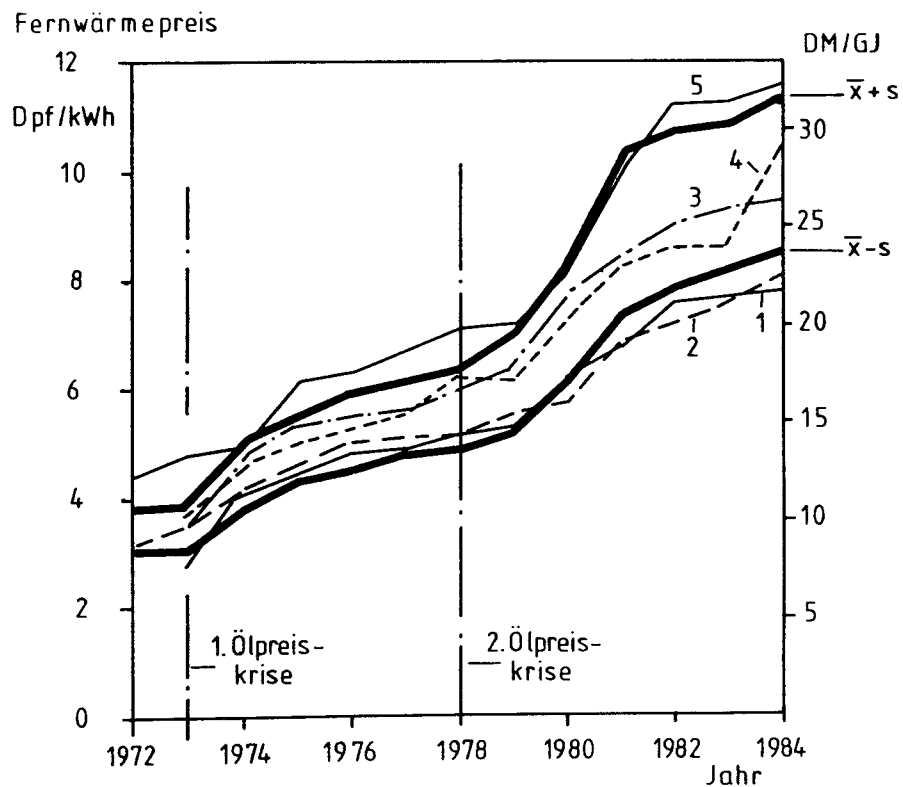


Bild 5.29: Entwicklung der Fernwärmepreise in ausgewählten Versorgungsgebieten /5.83, 5.84, 5.120 - 5.125/  
 1 - Stadtwerke Kempen  
 2 - Vereinigte Elektrizitätswerke, Dortmund  
 3 - Fernwärmeversorgung Niederrhein  
 4 - STEAG, Essen  
 5 - Stadtwerke Düsseldorf  
 $\bar{x} \pm S$  Fernwärmepreise mit Standardabweichung  
 nach Arbeitsgemeinschaft Fernwärme  
 Preisbasis: s. Abb. 5.28



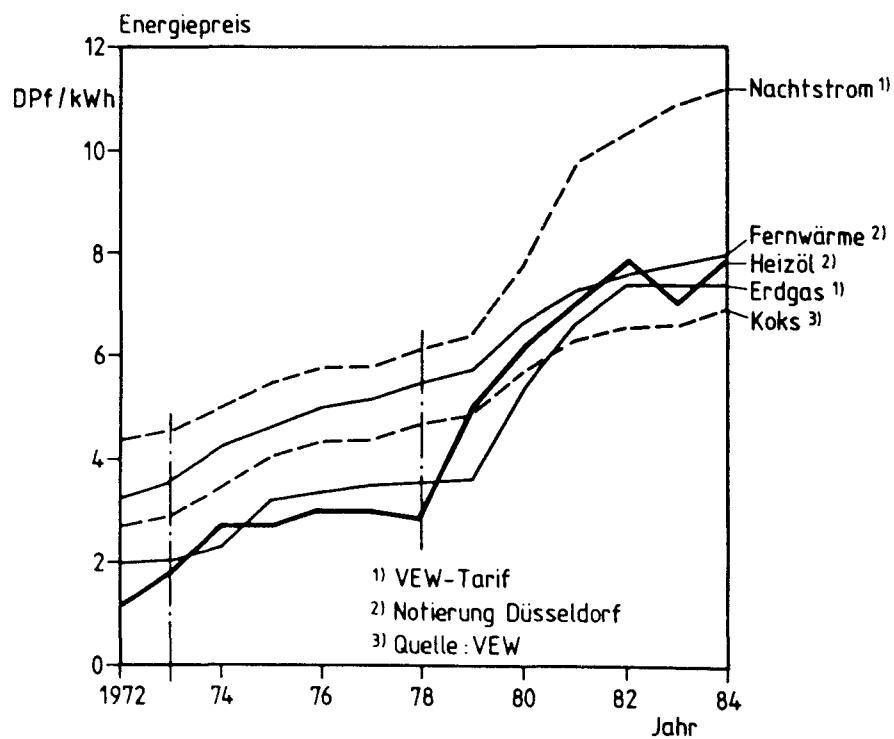
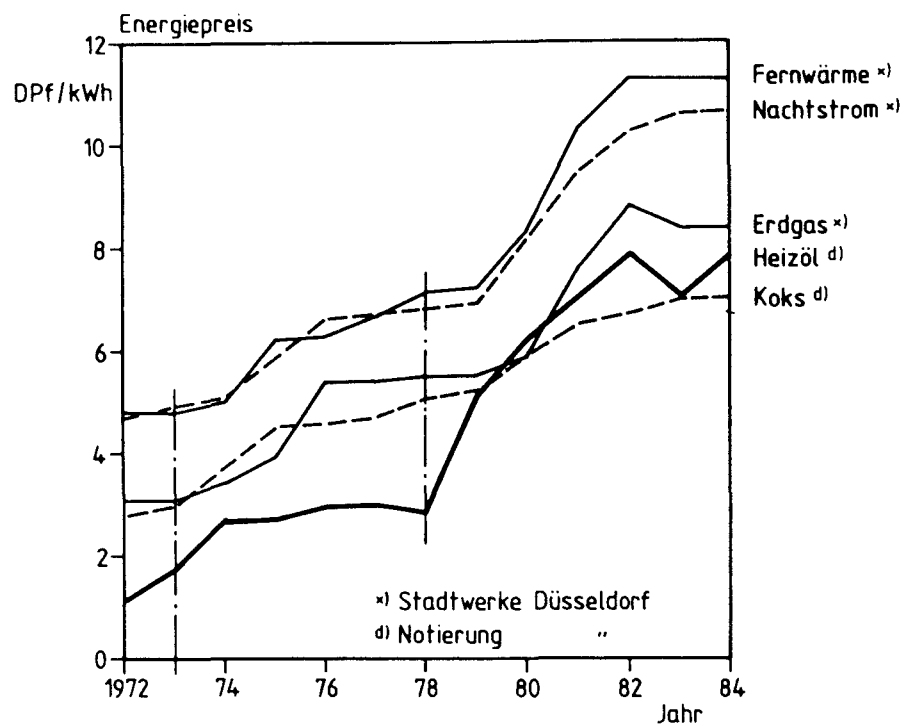


Bild 5.30: Vergleich der Energiepreise zweier Versorgungsgebiete /5.83, 5.84/  
a) Düsseldorf (obere Grafik)  
b) Vereinigte Elektrizitätswerke (VEW), Dortmund (untere Grafik)  
Preisangabe: einschließlich Grund- u. Arbeitspreis, Ausgleichabgabe und Mehrwertsteuer

#### 5.2.1.7 Versorgungsgebiete im Vergleich

Bild 5.30 zeigt alle Energieträger für konventionelle Heizsysteme im Vergleich für die Versorgungsgebiete der Stadtwerke Düsseldorf und die Vereinigten Elektrizitätswerke (VEW), Dortmund. Wenn auch die alleinige Bewertung des Energiepreises nur einen äußerst unvollkommenen Vergleich zuläßt, so zeigt jedoch das VEW-Versorgungsgebiet eine stärkere Orientierung am Ölpreis. Auffallend ist weiterhin eine engere Korrelation zwischen Fernwärme und Erdgas im VEW-Gebiet, vom reinen Energiepreis ist dies in Düsseldorf nicht der Fall. Für beide Versorgungsgebiete ist der Energiepreis für Koks nach dem zweiten Ölpreisschock am günstigsten.

Aussagekräftiger als ein Vergleich des reinen Energiepreises ist jedoch erst der Vergleich aller Elemente der Heizkosten, wie später zu zeigen ist.

#### 5.2.2 Kosten

##### 5.2.2.1 Investitionskosten

Eine exakte Analyse erforderte eine genaue Kenntnis der Investitionskosten für den Zeitraum 1972 - 1984 für das gesamte Versorgungsgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes. In der Realität ist eine solche Totalinformation auch nicht annähernd möglich. Zur Ermittlung der Investitionskosten wird daher eine Methode zur Schätzung der Investitionskosten gewählt.

##### 5.2.2.1.1 Schätzverfahren zur Ermittlung der Investitionskosten eines Basissystems

Zur Einschätzung der Investitionskosten verschiedener Heizsysteme wurde eine größere Anzahl von Heizkostenvergleichen analysiert /5.126 - 5.138/, der Schwerpunkt lag jedoch auf der Auswertung von Heizkostenvergleichen, die einen weiten Leistungsbereich abdecken /5.139 - 5.145/. Die Auswertung dieser umfassenden Heizkostenvergleiche zeigte Kostenverläufe (spezi-

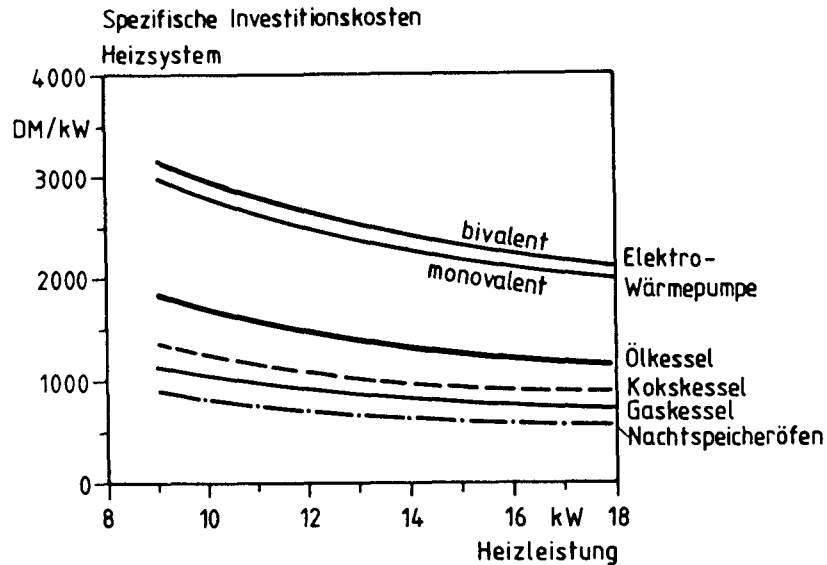


Bild 5.31: "Typische" Kostenverläufe (spezifische Kosten) für Heizsysteme in Abhängigkeit der Heizleistung /5.145/

fische Kosten) in Abhängigkeit der Heizleistung, wie sie in Bild 5.31 dargestellt sind. Diese können als "typisch" bezeichnet werden. Diese Kostenverläufe sind sehr ähnlich, überschneiden sich nicht und sind in erster Näherung über den gesamten Leistungsbereich durch einen einheitlichen Multiplikator ineinander überführbar. Für Wärmepumpen und konventionelle Ölkessel sind für absolute Investitionskosten in Abhängigkeit der Heizleistung die "typischen" Kostenverläufe in Bild 5.32 dargestellt. Die Verläufe der Kostenkurven sind hier linear angenommen. Exakter wäre sicher eine Sättigungstendenz zu kleinen Leistungen hin, für die hier benötigte Genauigkeit ist diese Annahme jedoch ausreichend. Die Relation zwischen Ölkessel und Wärmepumpen liegen in dem skizzierten Bereich. Diese Relationen sind der Multiplikator zur Erzeugung verschiedener Kostenverläufe gegenüber einem Basissystem. Als Basissystem wird die konventionelle Ölkesselheizung gewählt.

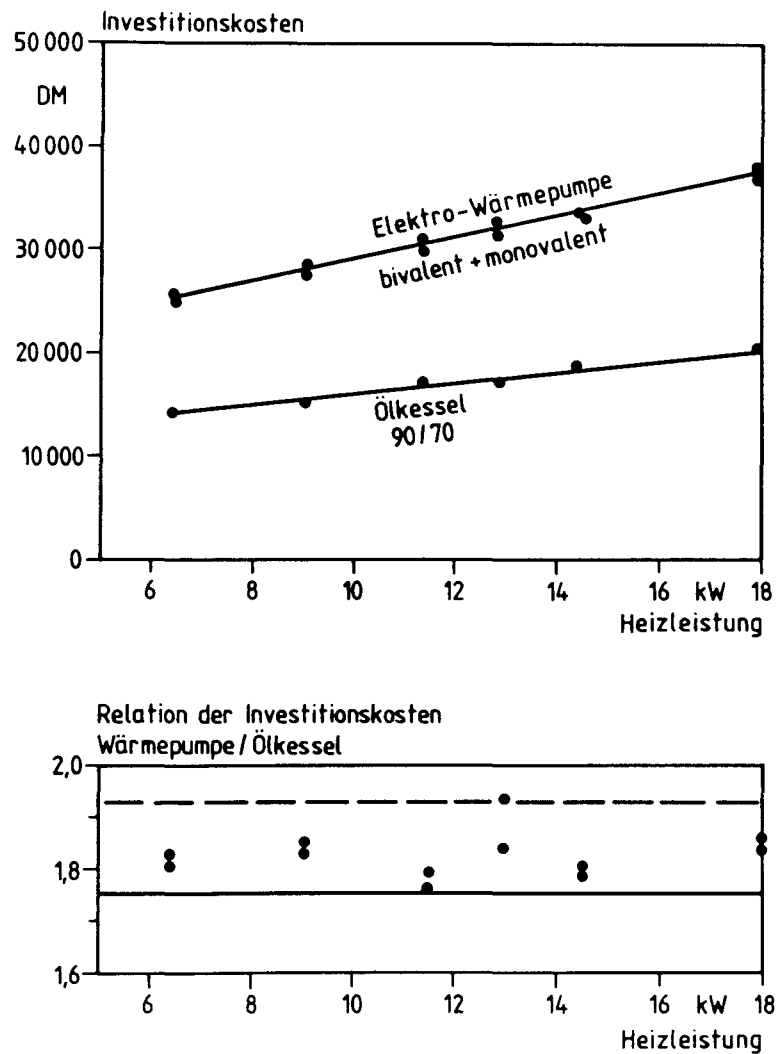


Bild 5.32: Investitionskosten und Kostenrelationen zwischen Ölkessel und Wärmepumpen in Abhängigkeit der Heizleistung /5.145/

Zunächst wird für dieses Basissystem die Preissteigerung im Zeitraum 1972 bis 1984 analysiert. Die Auswertung der genannten Heizkostenvergleiche zeigt etwa den Faktor 2. Eine Auswertung der Erzeugerpreise für die Heizungsbranche und von Baupreisen und Lohnkosten für Installateure bestätigt diese Einschätzung (s. Bild 5.33).

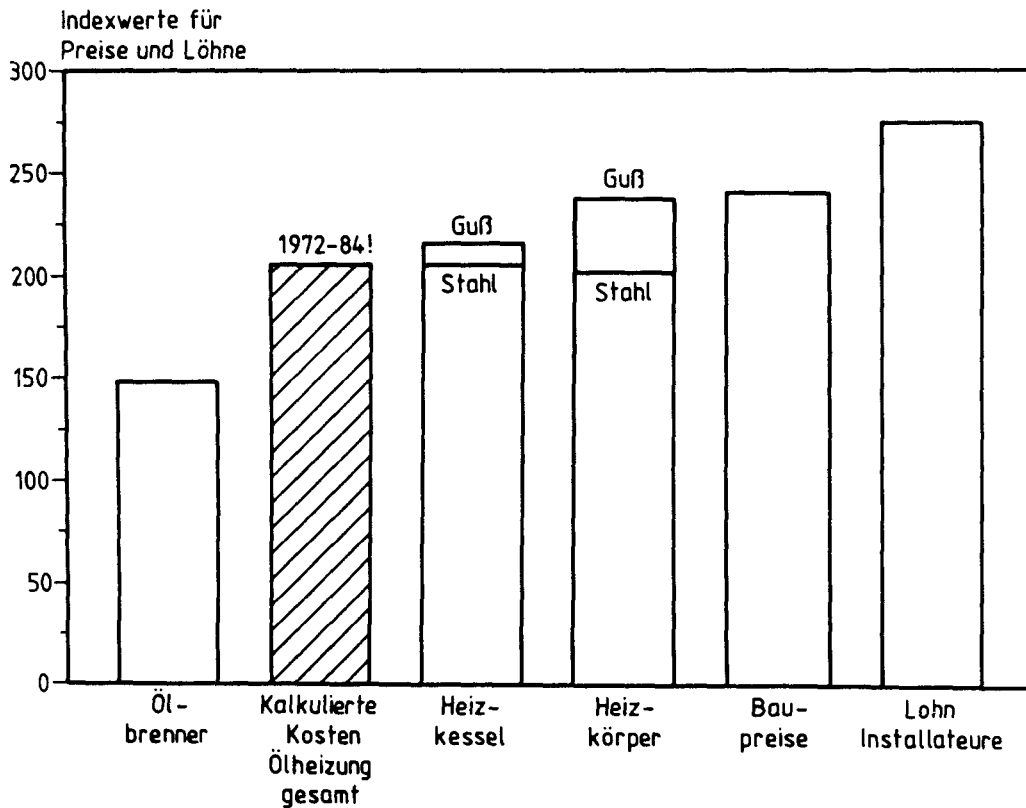


Bild 5.33: Indexwerte für Preise und Löhne für den Zeitraum 1969 - 1982 /5.146, 5.147/

Die Ermittlung der jährlichen Preissteigerungsrate gegenüber dem Ausgangswert erfolgt in erster Linie lohnorientiert nach der Lohnkostenentwicklung für Klempner, Gas- und Wasserinstallateure bei geringerer Berücksichtigung der Baupreise (s. Bild 5.34). Eine Anbindung an die Materialpreise konnte nicht erfolgen, da die einzelnen Jahrgänge nicht verfügbar waren.

Die nach dieser Methode ermittelten Investitionskosten für die Ölkesselheizung sind in Bild 5.35 zu finden. Die Kosten beziehen sich auf das ganze Heizsystem einschließlich Baunebenkosten für Heizraum und Tanklagerraum und beinhalten auch die jeweils gültige Mehrwertsteuer. Die Abstufungen im Kostenverlauf über den gesamten Betrachtungszeitraum sind begründet durch die sich

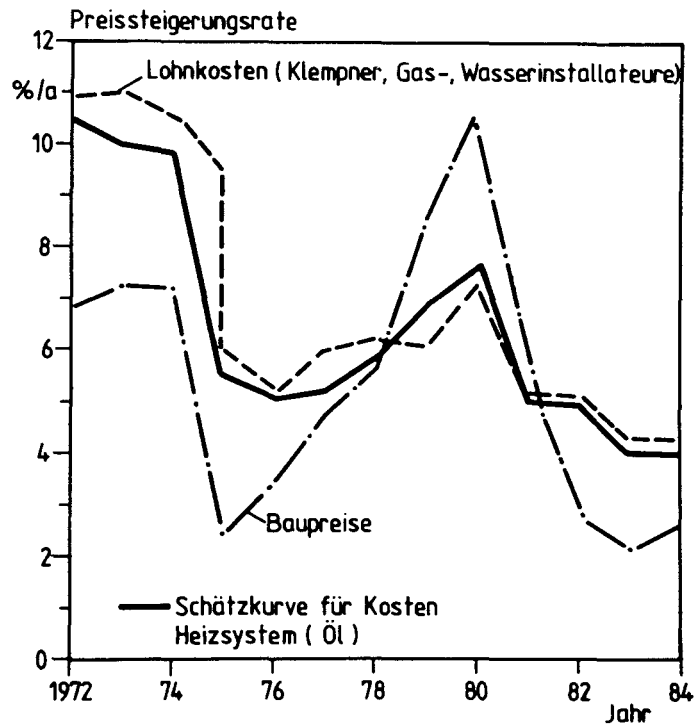


Bild 5.34: Entwicklung der Preissteigerungsraten für Baupreise und Lohnkosten der Installationsbranche sowie Schätzkurve der Preissteigerungsraten für die Ölheizung /5.147, 5.148/

verändernden Wärmeschutzanforderungen bzw. Bedingungen des Rechenverfahrens nach DIN 4701. Diese Abstufungen zeigen zugleich, daß Heizleistungen über den skizzierten Leistungsbereich hinaus bei Bestimmung nach den jeweils gültigen Regeln der DIN 4701 im Ein- und Zweifamilienhausbereich nicht mehr repräsentativ sind. Die Erhebung der Kosten bezieht sich jeweils auf die Heizleistung nach DIN 4701. Für einzelne Ele-

mente kann dies bedeuten, daß auf Markterzeugnisse höherer Leistung zurückgegriffen werden muß. Dies ist z. B. bei der Ölheizung bei der Kesselwahl der Fall, denn derzeit gibt es am Markt keine Kessel, die eine kleinere Leistung als 10 kW aufweisen /5.149/.

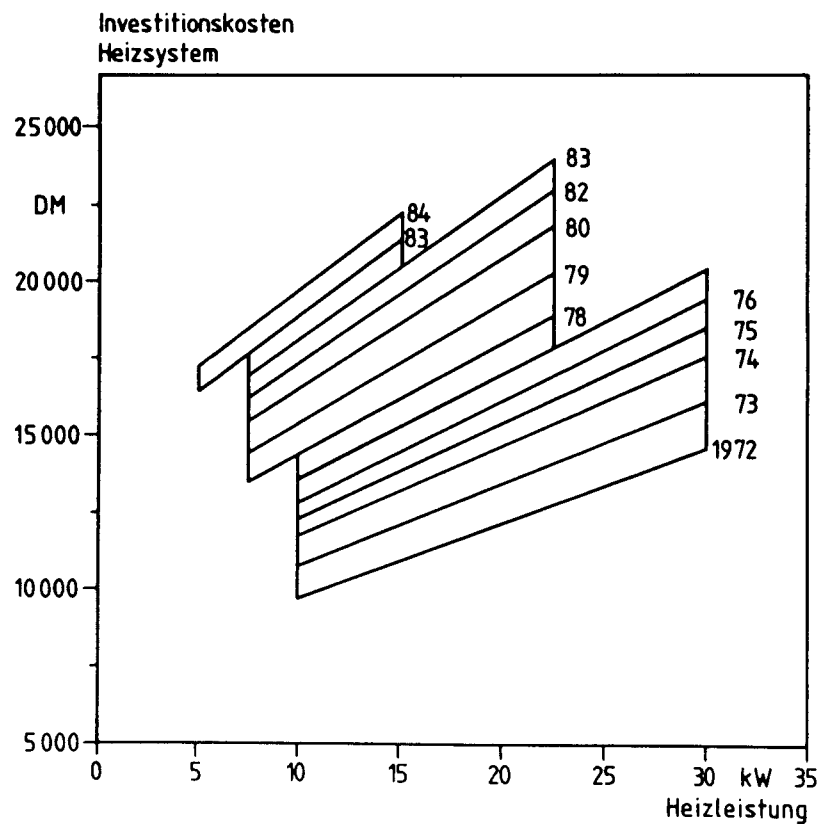


Bild 5.35: Investitionskosten für die Ölheizung als Funktion der Heizleistung für den Zeitraum 1972 - 1980 (incl. Baunebenkosten und Mehrwertsteuer)

#### 5.2.2.1.2 Eingabewerte der restlichen Systeme

In Relation zum Basissystem Ölheizung werden die Investitionskosten für Gaskessel, Koksessel, Nachtspeicherheizung und Wärmepumpen ermittelt. Bei der Nachtspeicherheizung ist dabei

bis 1977 die von den Elektrizitätsunternehmen geforderte zusätzliche Wärmedämmung zu berücksichtigen. Bei der Ermittlung der Investitionskosten für die Fernwärmeheizung wird von diesem Verfahren weitgehend abgewichen, da die Kostenstruktur der Fernwärmeheizung eine eigenständige Betrachtung erforderlich macht.

Die Kosten der Fernwärmeheizung werden aus einzelnen Kostengruppen ermittelt. Die Anschlußkosten für den Ein- und Zweifamilienhausbereich werden den Fernwärmepreisvergleichen 1973 - 1984 der Arbeitsgemeinschaft Fernwärme entnommen. Dazu kommen Kosten für die Hausstation (Übergabestation und Hausanlage) aus Heizkostenvergleichen /5.139 - 5.145/. Die Kosten für die Wärmeverteilung entsprechen dem Aufwand des Basissystems Ölheizung.

Der Aufwand für die Investition des gesamten Heizsystems bzw. der Kostenrelationen für die restlichen Heizsysteme kann den Bildern 5.36 bis 5.47 entnommen werden.

Die Kosten der zusätzlichen Wärmedämmung nach den Empfehlungen der Elektrizitätsversorgungsunternehmen sind in Bild 5.41 dargestellt. Sie stellen den zusätzlichen Investitionsaufwand in Abhängigkeit der Wohnfläche des Gebäudes dar. Diese Kosten entstammen durchgeführten Maßnahmen aus den Jahren 1966 - 1972. Sie wurden einheitlich auf den Preisstand 1972 aufgezinßt, die jährliche durchschnittliche Preissteigerungsrate wurde mit 5 % angenommen. Diese Kosten wurden für den Betrachtungszeitraum 1972 - 1977, in dem Zusatzkosten für Wärmedämmung anfielen, ebenfalls mit einer jährlichen Preissteigerungsrate für Baupreise von 5 % aufgezinßt (vgl. Bild 5.34).

Im Gegensatz zu den anderen Systemen wurde bei der Ermittlung der Preisrelationen zwischen Nachtspeicheröfen und Ölkesseln über den Leistungsbereich eine größere Spannbreite festgestellt. Während bei der üblichen Ermittlung der Investitions-



kosten über die Preisrelationen ein Festwert zugrundegelegt wurde, wird hier der in Bild 5.41 dargestellte leistungsabhängige Bereich gewählt.

Die in Bild 5.44 dargestellten Relationen zwischen Fernwärme und Ölkessel sind zur Ergänzung der Vorgehensweise aufgeführt. Diese Relationen wurden über die gesamten Investitionskosten ermittelt, sie dienen nicht der Erzeugung der Kosten nach der abgeleiteten Methode.

Die Analyse der Investitionskosten bzw. der Kostenrelationen hat auf die gewählten Basiswerte Abweichungen nach oben und unten von etwa 10 % erkennbar werden lassen. Bei der Ermittlung der Heizkosten wird die Sensitivität der Abweichung des Investitionsaufwandes um  $\pm 5$  % geprüft. Die gesamte Spannbreite der Relationen erhält man durch Zuordnung des oberen Wertes eines Systems zum unteren Wert des Vergleichssystems.

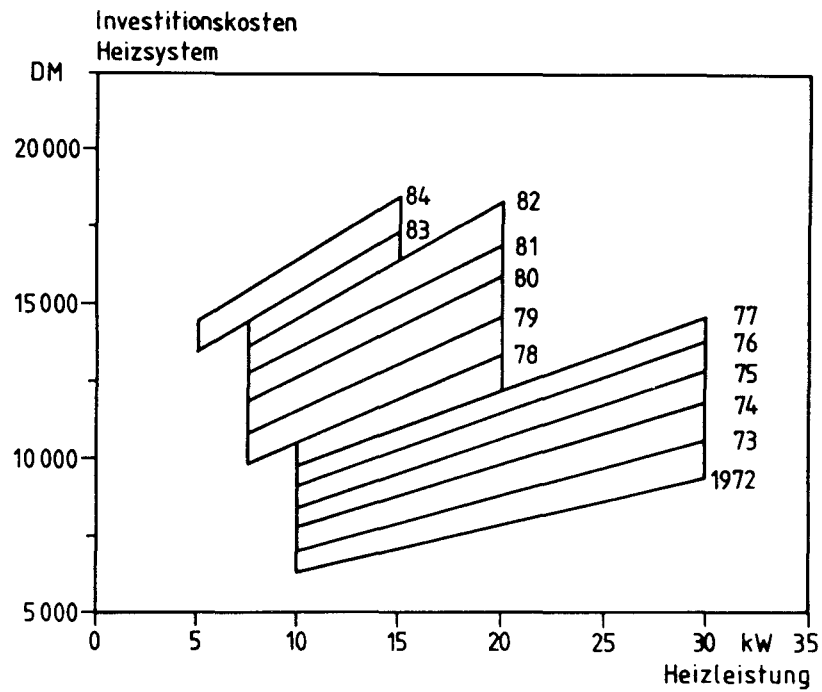


Bild 5.36: Investitionskosten für die Gaskesselheizung (atmosphärischer Kessel) als Funktion der Heizleistung für den Zeitraum 1972 - 1984 (incl. Baunebenkosten und Mehrwertsteuer)

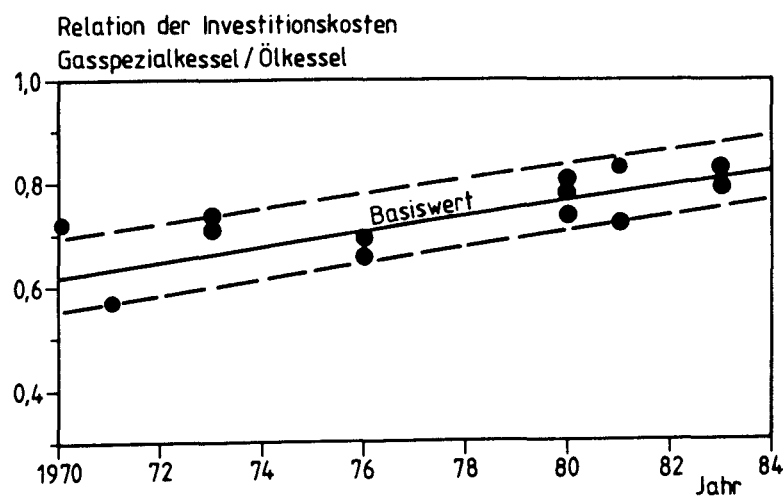


Bild 5.37: Relation der Investitionskosten zwischen Gasspezialkessel und Ölkessel nach Heizkostenvergleichen /5.140 - 5.145/

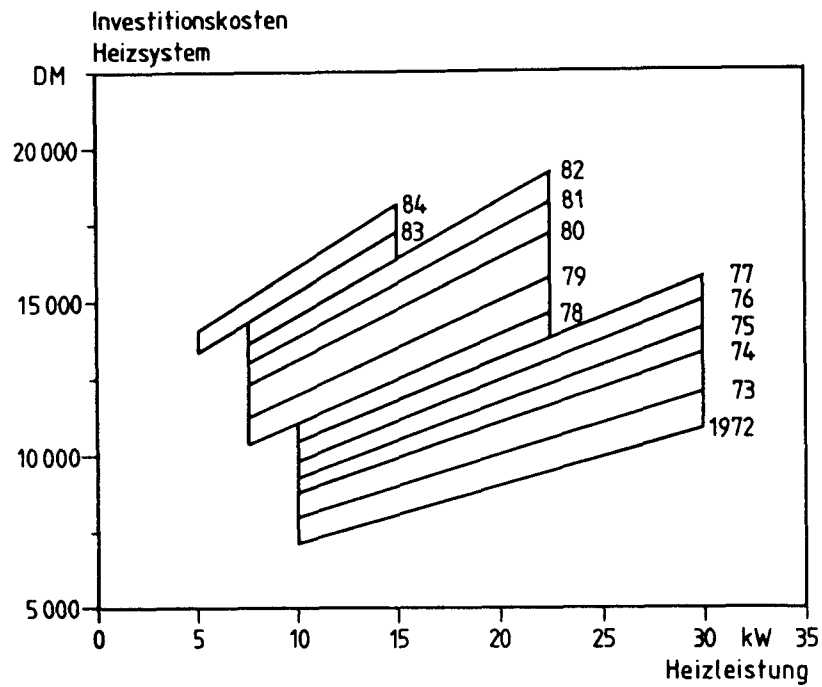


Bild 5.38: Investitionskosten für die Koksesselheizung als Funktion der Heizleistung für den Zeitraum 1972 - 1984 (incl. Baunebenkosten und Mehrwertsteuer)

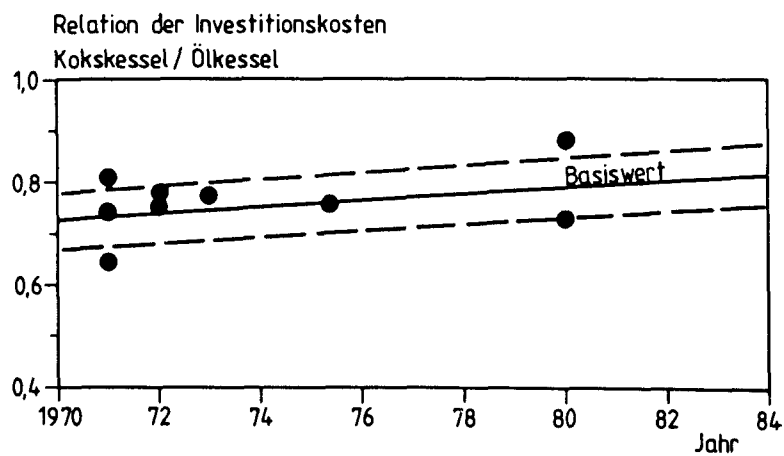


Bild 5.39: Relation der Investitionskosten zwischen Koksesselheizung und Ölkesselheizung nach Heizkostenvergleichen /5.140 - 5.145/

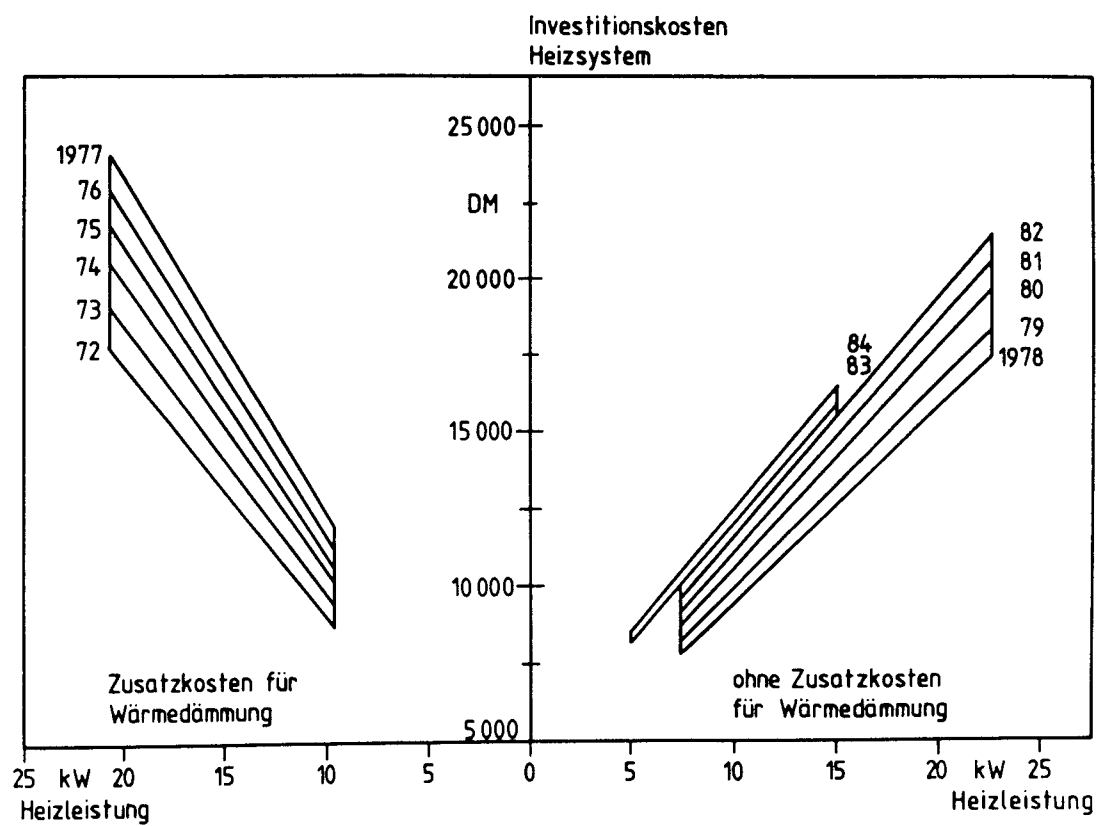


Bild 5.40: Investitionskosten für Nachtstromspeicheröfen als Funktion der Heizleistung für den Zeitraum 1972 - 1984 (incl. Mehrwertsteuer)  
Anmerkung: bis 1977 wurden Zusatzkosten für Wärmedämmung nach den Empfehlungen der Elektrizitätsversorgungsunternehmen berücksichtigt

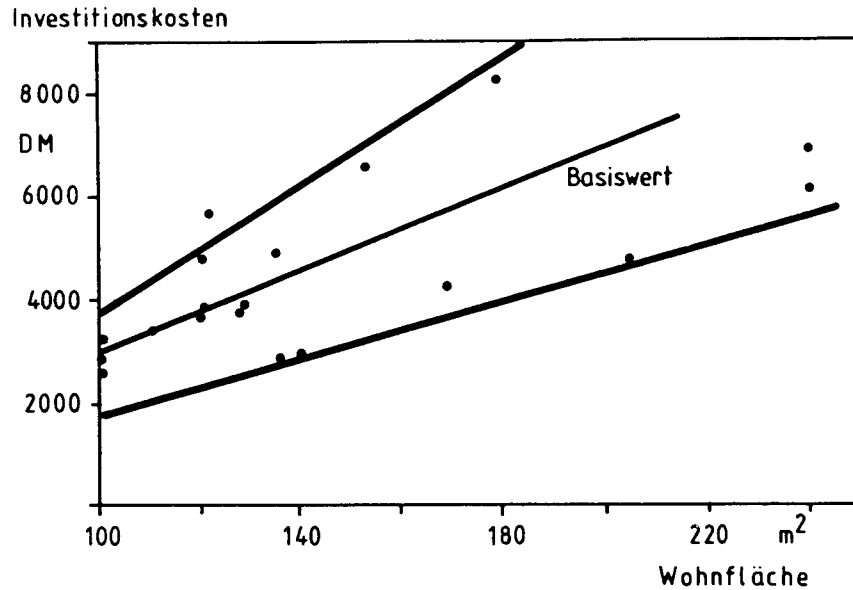


Bild 5.41: Zusatzkosten für Nachtspeicheröfen durch Wärmedämmung nach den Empfehlungen der Elektrizitätsversorgungsunternehmen in Abhängigkeit der Wohnfläche (Preisstand 1972, incl. Mehrwertsteuer) /5.150/

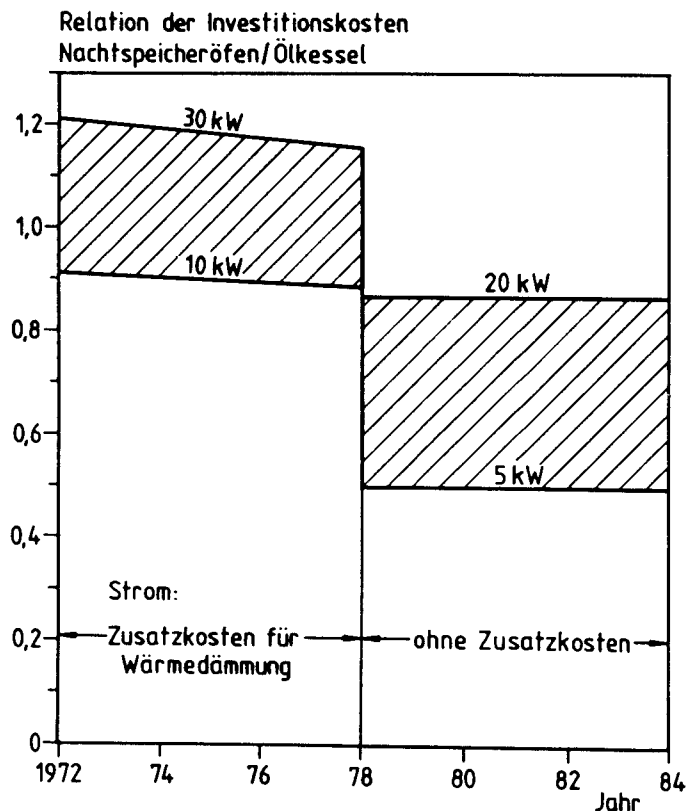


Bild 5.42: Relationen der Investitionskosten zwischen Nachtspeicheröfen und Ölkesselheizung nach Heizkostenvergleichen /5.140 - 5.145/

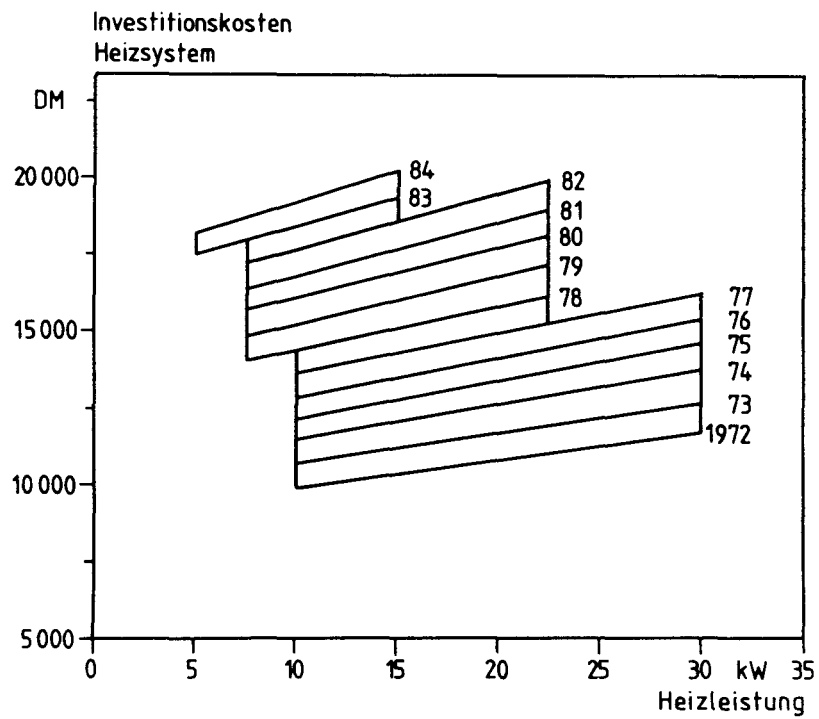


Bild 5.43: Investitionskosten für die Fernwärmeheizung als Funktion der Heizleistung für den Zeitraum 1972 - 1984 (incl. Baunebenkosten und Mehrwertsteuer)

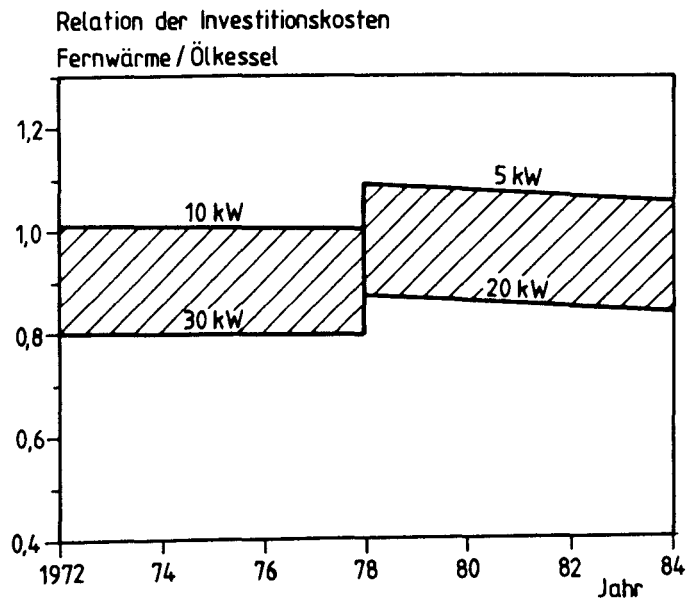


Bild 5.44: Relation der Investitionskosten zwischen Fernwärmeheizung und Ölkesselheizung

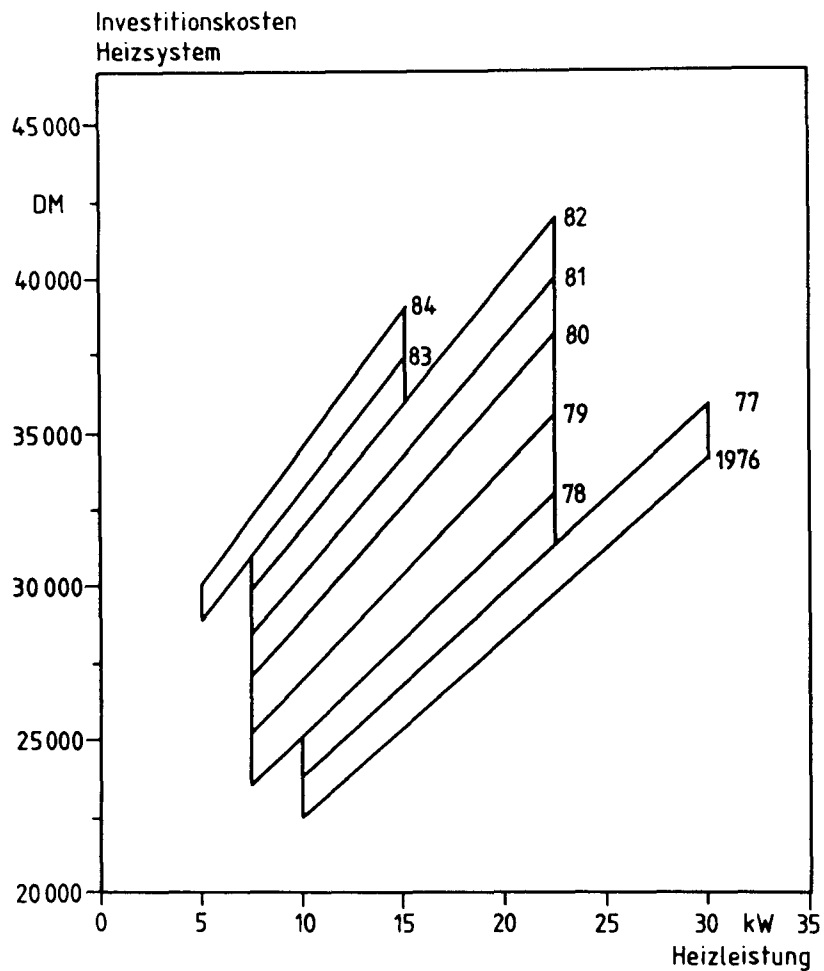


Bild 5.45: Investitionskosten für die bivalente Außenluft-Elektrowärmepumpe als Funktion der Heizleistung für den Zeitraum 1976 - 1984 (incl. Zusatzölkessel, Baunebenkosten und Mehrwertsteuer)

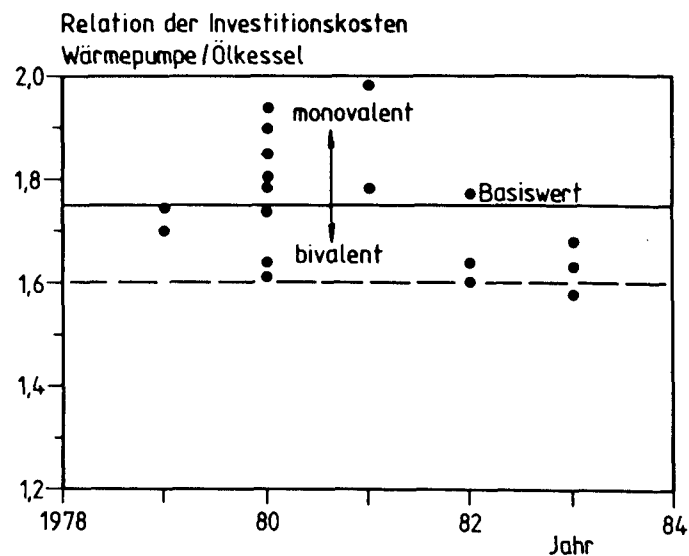


Bild 5.46: Relation der Investitionskosten zwischen Elektrowärmepumpe und Ölkessel nach Heizkostenvergleichen /5.135 - 5.145/

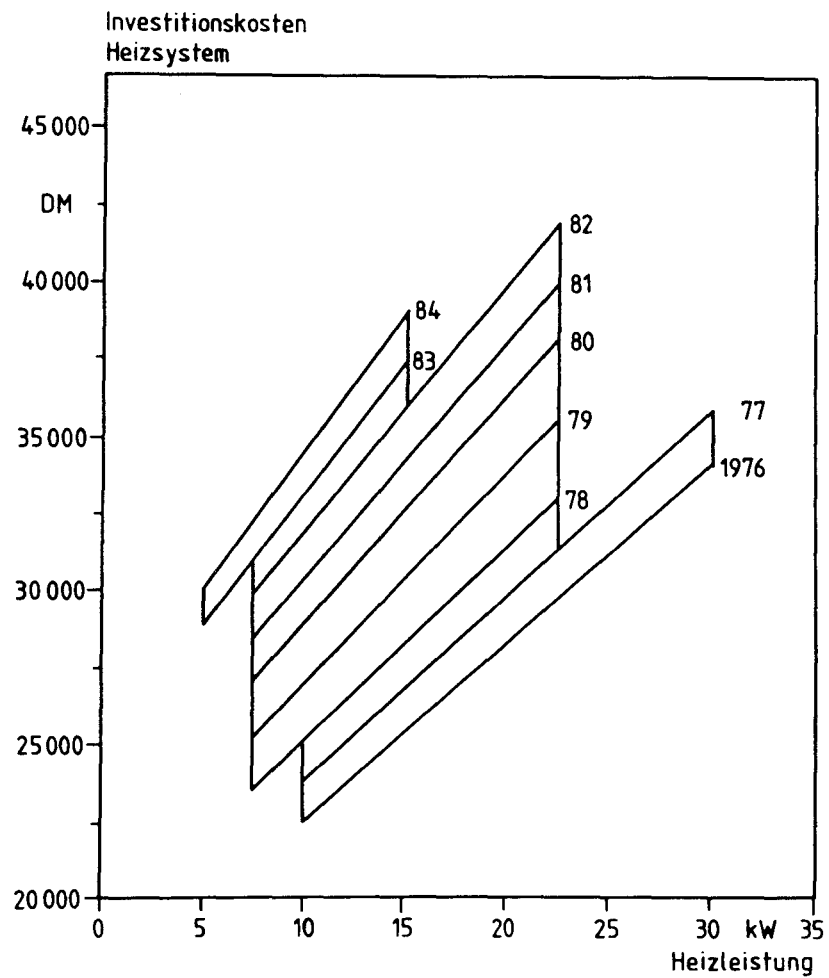


Bild 5.47: Investitionskosten für die monovalente Grundwasser-Elektrowärmepumpe als Funktion der Heizleistung für den Zeitraum 1976 - 1984 (incl. Baunebenkosten und Mehrwertsteuer)



#### 5.2.2.2 Kostenstruktur der Investitionskosten und Instandhaltungskosten

Zur Ermittlung des Kapitaldienstes wird die Kostenstruktur des Investitionsaufwandes benötigt. Aufgrund der Kostenanteile einzelner Kostengruppen und zugeordneten Nutzungsdauern läßt sich der Kapitaldienst nach dem Kurzverfahren der VDI 2067 errechnen. Die Ermittlung der Kostenstruktur geht auf wenige, aber repräsentative Heizkostenvergleiche zurück. Aus den jeweiligen Entwicklungslinien der einzelnen Kostengruppen wird ein Mittelwert geschätzt, der für den ganzen Betrachtungszeitraum unverändert bleibt.

Diesen Kostengruppen werden die Nutzungsdauern und Instandhaltungssätze, die in Anrechnung kommen, zugeordnet (nach dem Kurzverfahren der VDI 2067). Die Nutzungsdauern für Wärmepumpen sind in Anlehnung an VDI 2067 bzw. der HEA-Richtlinie "Kostenrechnung Wärmepumpe" ermittelt worden /5.29/.

Mit den in den Bildern 5.48 bis 5.51 aufgeführten Basiswerten werden die Rechnungen durchgeführt. Im Rahmen der Risikobewertung werden die Lebensdauern und Instandhaltungssätze der Wärmepumpen über den genannten Rahmen hinaus variiert.

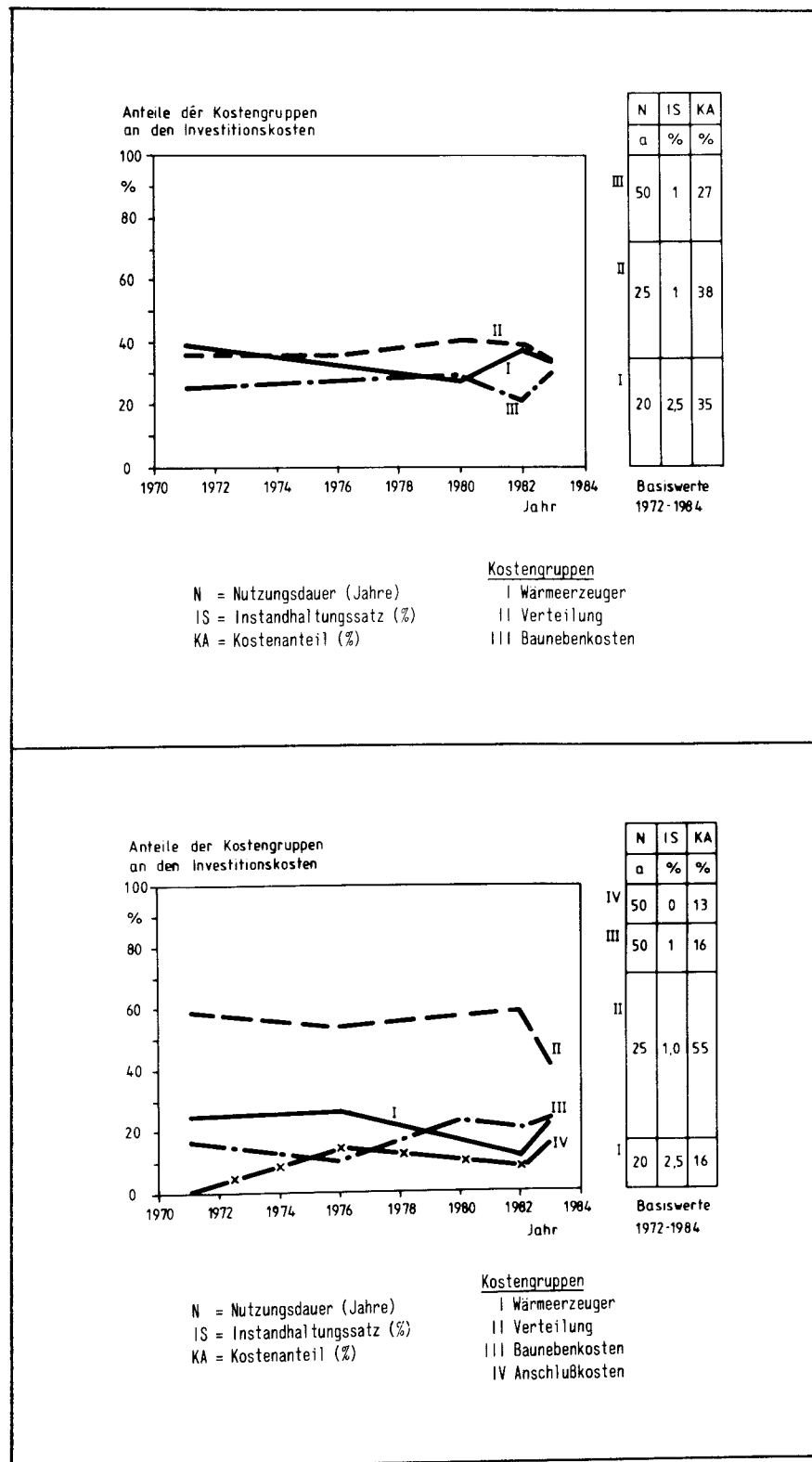


Bild 5.48: Kostenstruktur des Investitionsaufwandes nach Heizkostenvergleichen sowie Nutzungsdauern und Instandhaltungssätze nach VDI 2067 (Kurzverfahren) /5.141 - 5.149/  
 Ölheizung (obere Grafik), Gasheizung (untere Grafik)

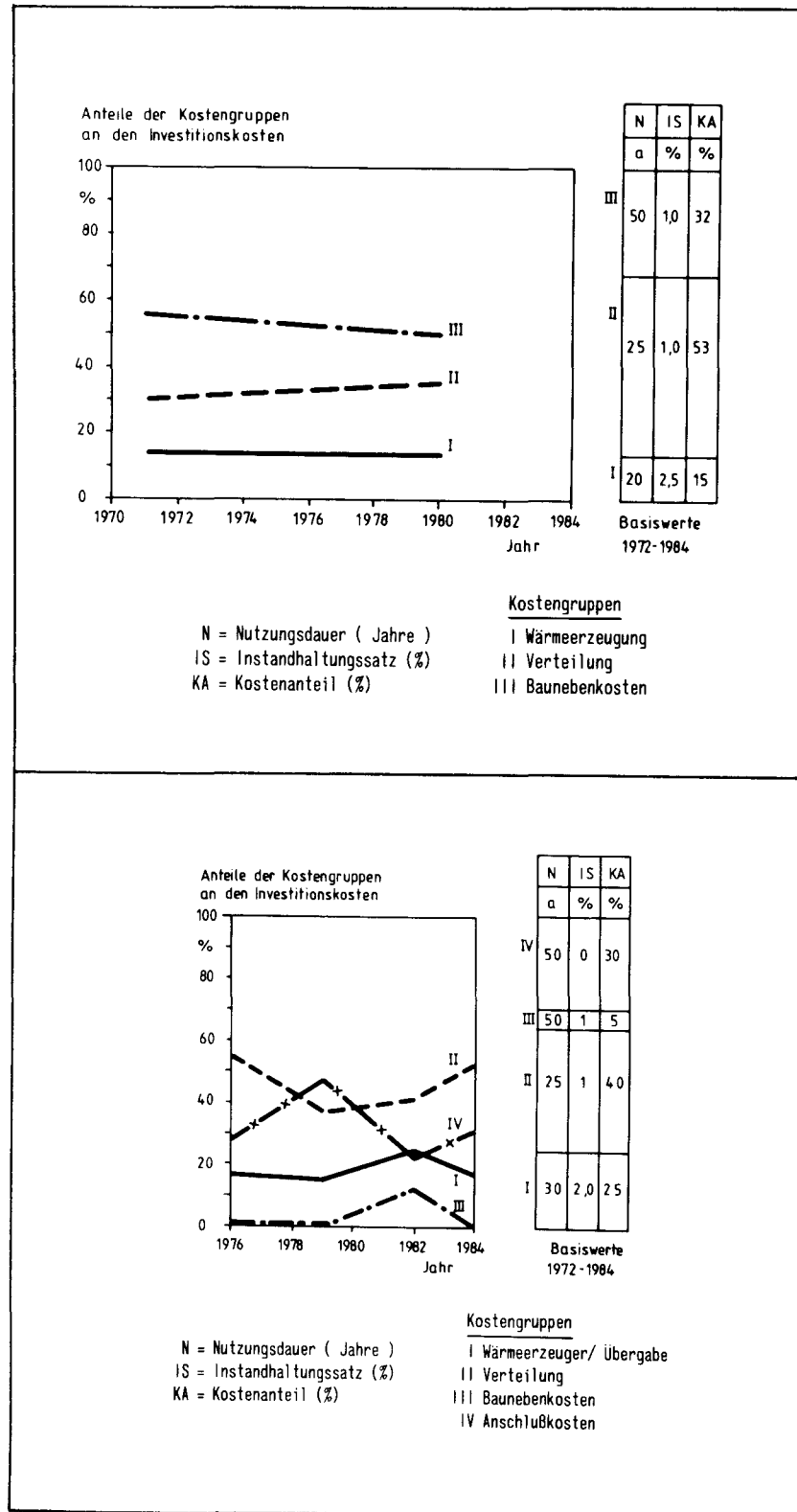


Bild 5.49: Kostenstruktur des Investitionsaufwandes nach Heizkostenvergleichen sowie Nutzungsdauern und Instandhaltungssätze nach VDI 2067 (Kurzverfahren)  
Koksheizung (obere Grafik) /5.142, 5.144/  
Fernwärme (untere Grafik) /5.141 - 5.149, 5.151/

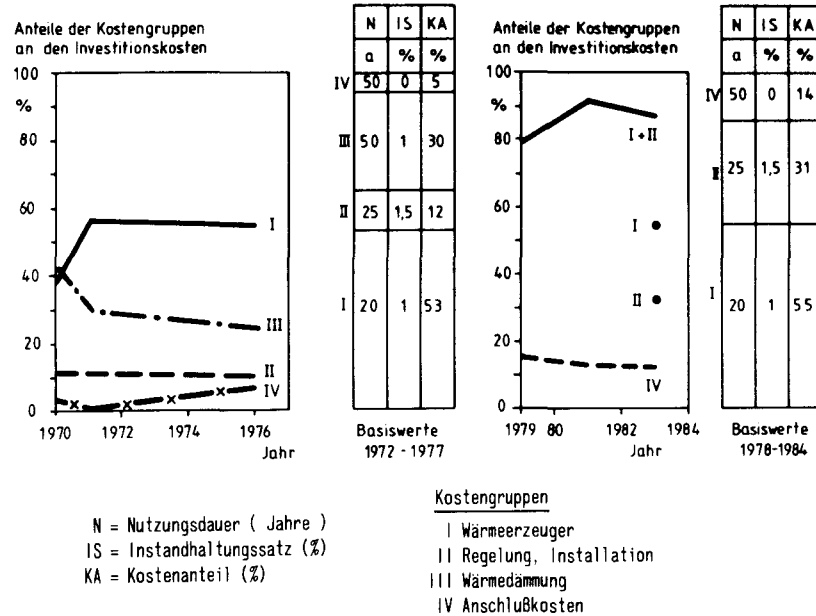
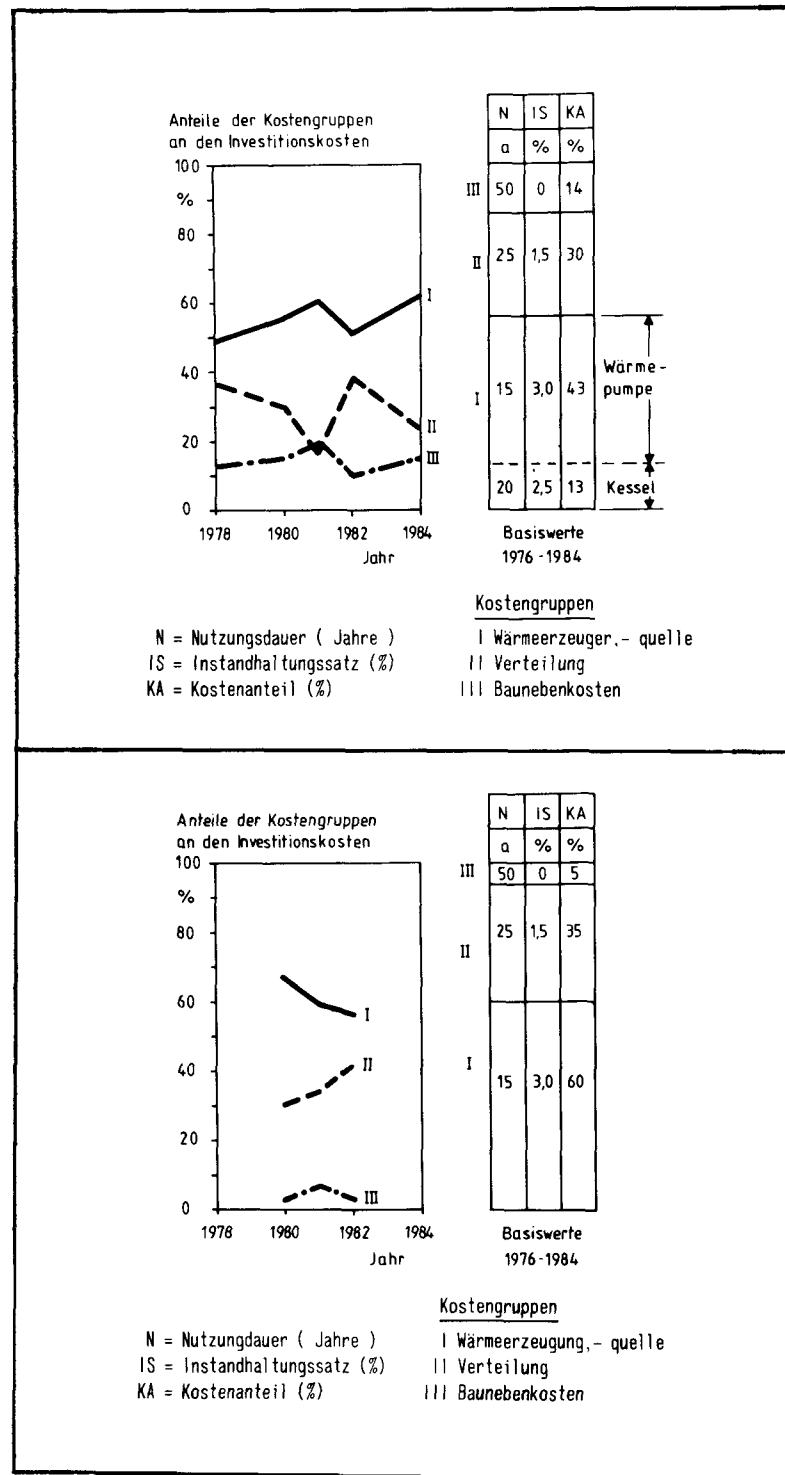


Bild 5.50: Kostenstruktur des Investitionsaufwandes nach Heizkostenvergleichen sowie Nutzungsdauern und Instandhaltungssätze nach VDI 2067 (Kurzverfahren) für Nachtspeicheröfen  
 Anmerkung: Bis 1977 Zusatzaufwand für Wärmedämmung nach den Empfehlungen der Elektrizitätsversorgungsunternehmen /5.142 - 5.144, 5.150, 5.151/



Anteile der Kostengruppen an den Investitionskosten

1978 1980 1982 1984  
Jahr

	N	IS	KA
	a	%	%
III	50	0	5
II	25	1,5	35
I	15	3,0	60

Basiswerte  
1976-1984

N = Nutzungsdauer ( Jahre )  
IS = Instandhaltungssatz (%)  
KA = Kostenanteil (%)

Kostengruppen  
I Wärmeerzeugung,- quelle  
II Verteilung  
III Baunebenkosten

Bild 5.51: Kostenstruktur des Investitionsaufwandes nach Heizkostenvergleichen sowie angenommene Nutzungsdauern und Instandhaltungssätze

- bivalente Außenluft-Elektrowärmepumpe mit Ölzusatzkessel (obere Grafik) /5.126, 5.140, 5.143, 5.144/
- monovalente Grundwasser-Elektrowärmepumpe (untere Grafik) /5.142 - 5.144/

#### 5.2.2.3 Wartungskosten

Wartung umfaßt nach VDI 2067 die Überwachung und Pflege der Anlage, regelmäßige Prüfung ihrer Betriebsbereitschaft und Betriebssicherheit einschließlich Einstellung sowie Reinigung der Anlage und des Betriebsraumes.

Mit Einführung der Heizungsbetriebs-Verordnung (HeizBetrV) im Jahre 1978 ist der Betreiber von Zentralheizungsanlagen mit einer Nennwärmeleistung größer als 11 kW nach § 4 HeizBetrV verpflichtet, die Bedienung, Wartung und Instandhaltung durchführen zu lassen /5.152/.

Soweit es sich um Kesselanlagen handelt, ist der Umfang der Wartung durch Brenner und rauchgasseitige Kesselwartung gegeben. Dazu kommen noch die Kehrgebühren und Kosten für Überwachungsmessungen durch den Schornsteinfeger /5.153/.

Für öl- und gasgefeuerte Kessel liefert die VDI 2067 selbst Anhaltswerte. Um das Spektrum der Wartungskosten aller betrachteten Heizsysteme zu erfassen, wurden Heizkostenvergleiche ausgewertet. Diese Ergebnisse sind in den Bildern 5.52 bis 5.58 aufgetragen. Aus der Bandbreite der Ergebnisse wurde durch grafische Mittelwertbildung ein Basiswert festgelegt, (vgl. /5.154/). Dieser Basiswert wird in der Sensitivitätsanalyse zur Ermittlung der wichtigsten Einflußgrößen um  $\pm 10 \%$  verändert. Beim Systemvergleich werden dann die Extremwerte zweier Vergleichssysteme miteinander kombiniert.

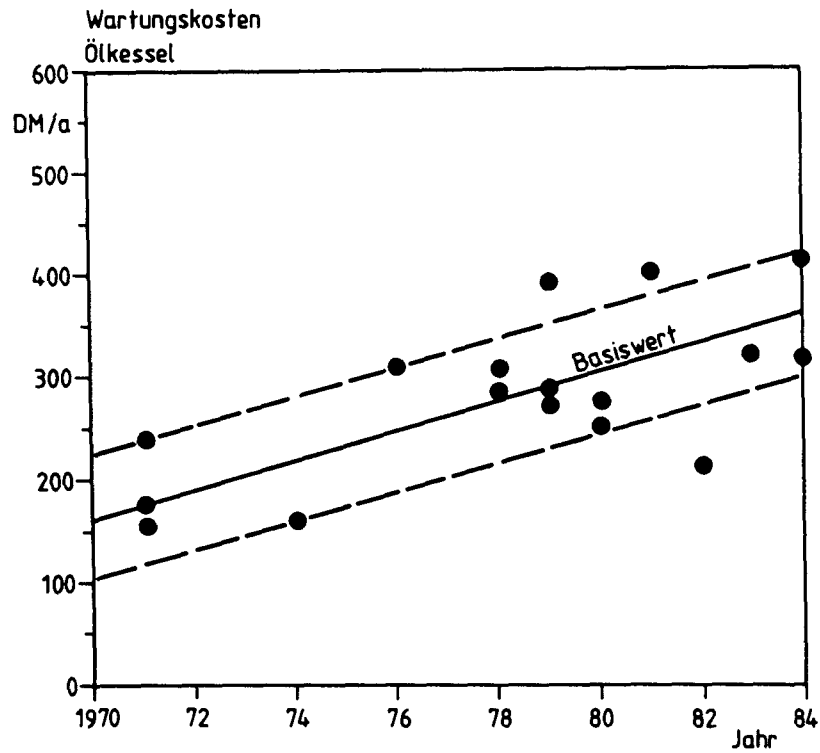


Bild 5.52: Wartungskosten für Ölkesselheizung aus Heizkostenvergleichen (incl. MWSt.) /5.133, 5.135, 5.140 - 5.144/

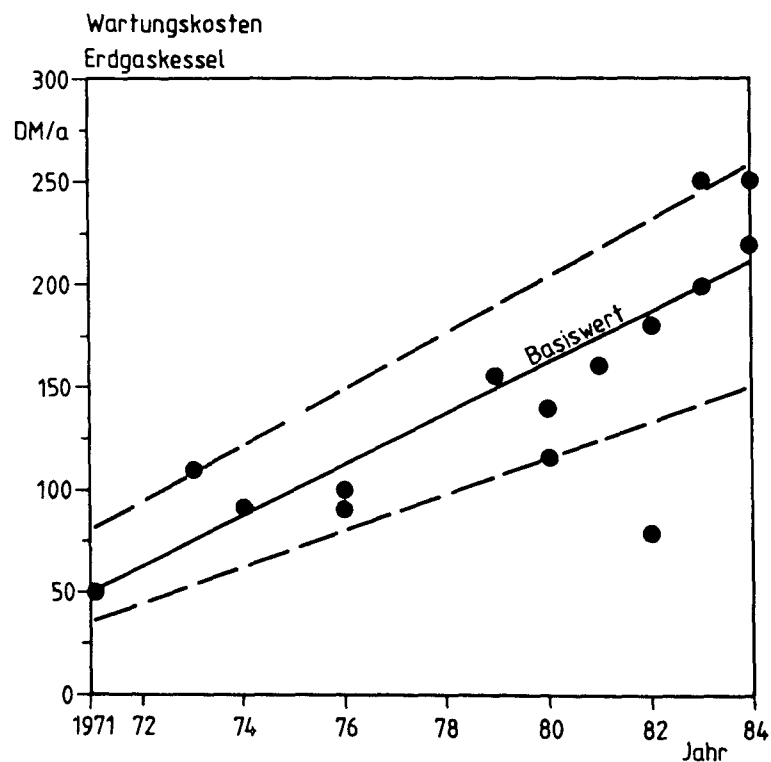


Bild 5.53: Wartungskosten für atmosphärische Gaskesselheizung aus Heizkostenvergleichen (incl. MWSt.) /5.133, 5.135, 5.140 - 5.144/

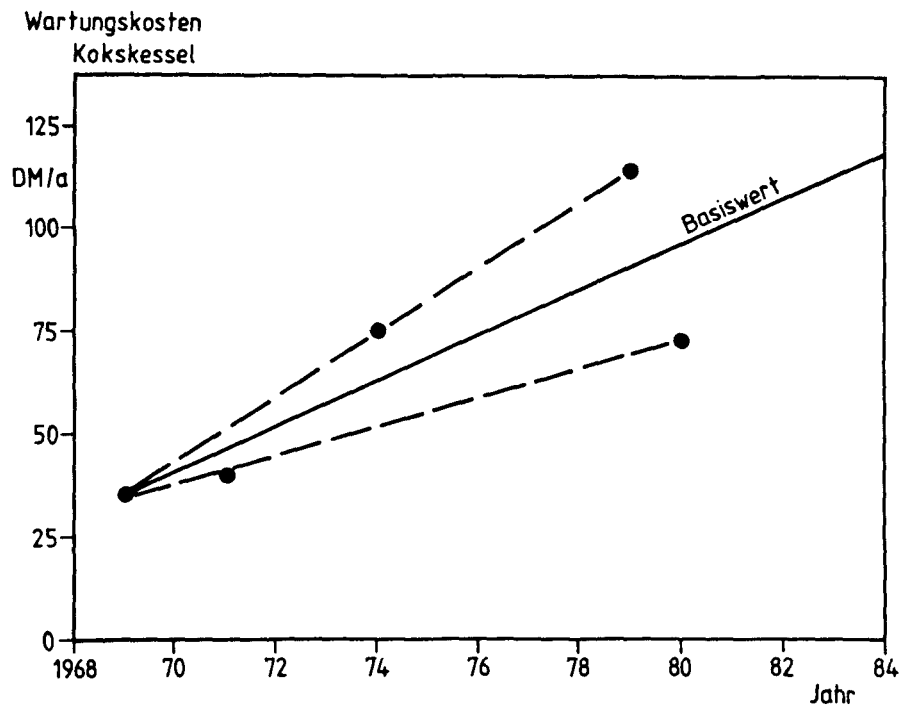


Bild 5.54: Wartungskosten für Kokskesselheizung aus Heizkostenvergleichen (incl. MWSt.) /5.133, 5.142, 5.144/

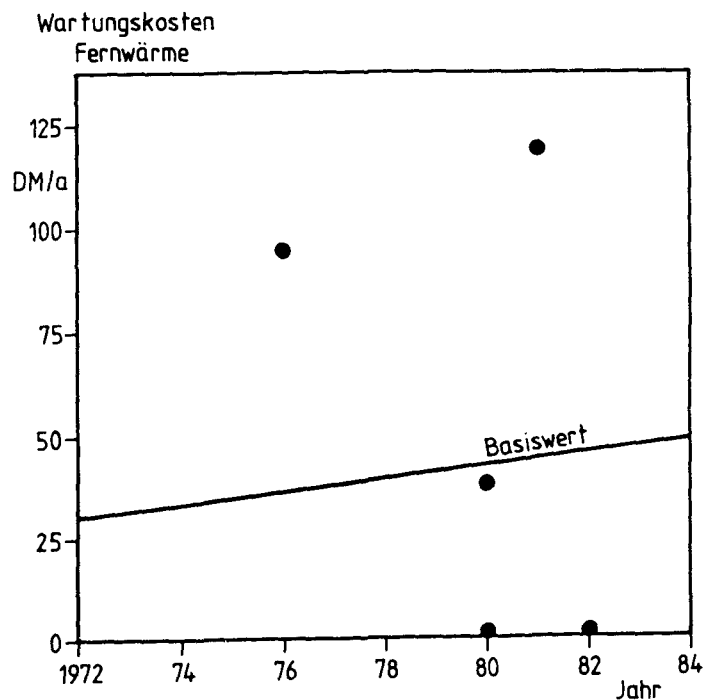


Bild 5.55: Wartungskosten für Fernwärmeheizung aus Heizkostenvergleichen (incl. MWSt.) /5.142 - 5.144, 5.155/



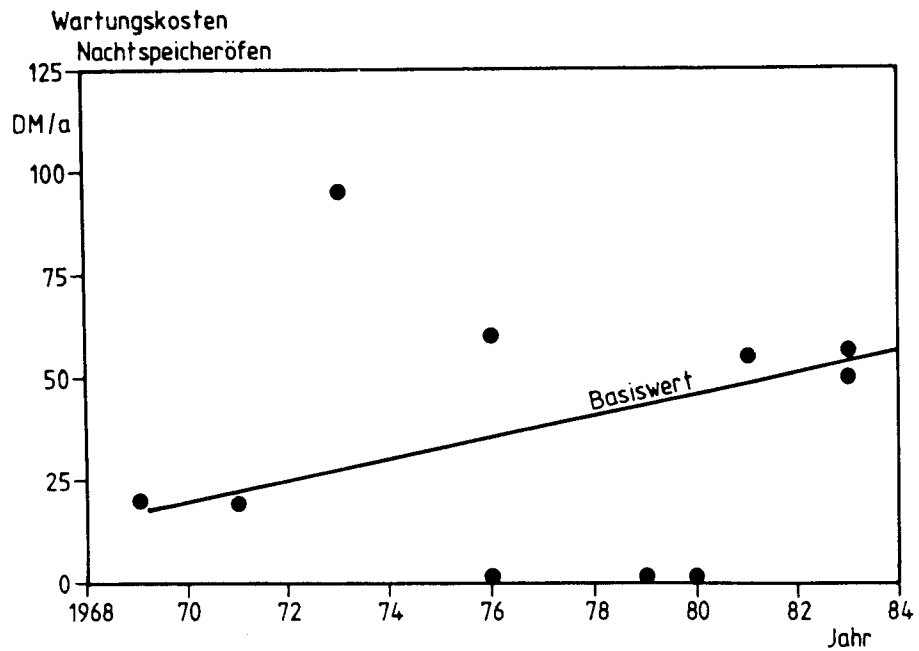


Bild 5.56: Wartungskosten für Nachtspeicheröfen aus Heizkostenvergleichen (incl. MWSt.)  
/5.133, 5.135, 5.140 - 5.144/

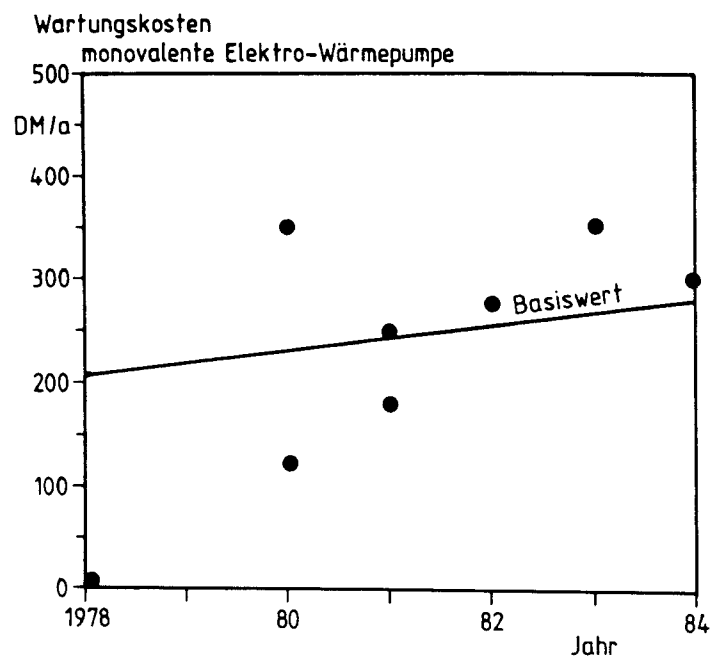


Bild 5.57: Wartungskosten für monovalente Grundwasser-Elektrowärmepumpen aus Heizkostenvergleichen (incl. MWSt.)  
/5.126, 5.140 - 5.144/

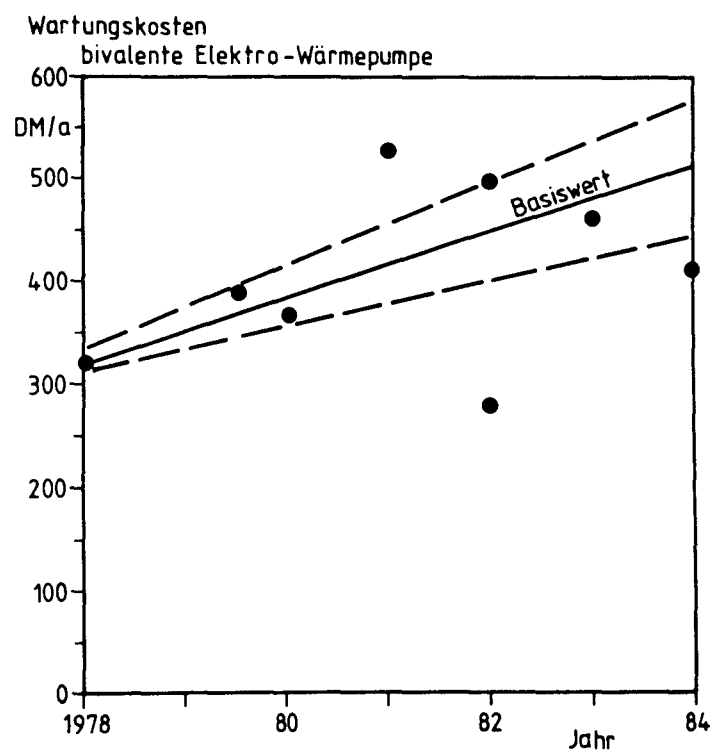


Bild 5.58: Wartungskosten für bivalente Außenluft-Elektrowärmepumpe mit Ölzusatzkessel aus Heizkostenvergleichen (incl. MWSt.)  
/5.126, 5.140 - 5.144/

#### 5.2.2.4 Risikobewertung

Die Analyse der Kosten und Preise für die Beschaffung von Heizungsanlagen hat das Unsicherheitsmoment innerhalb der Annahme deutlich werden lassen. Dieses Unsicherheitsmoment bezog sich auf die fehlende Transparenz der Kostensituation auf dem Heizungsmarkt.

Daneben gibt es Risiken anderer Art, die die Investitionsentscheidung beeinflussen und monetäre Grundlagen haben:

- a) der Kalkulationszinsfuß,
- b) die Nutzungsdauer,
- c) der Instandhaltungssatz.

##### a) Kalkulationszinsfuß

Die Höhe des Kalkulationszinsfußes kann für das Ergebnis einer Investitionsrechnung eine wesentliche Bedeutung haben. Sie hängt von der Art der Finanzierung und den Risikoerwartungen eines Investors ab /5.156, 5.157/.

Geht man von Fremdfinanzierung einer Investition aus, was beim hier untersuchten Neubau der übliche Fall sein dürfte, so sollte der Kalkulationszinsfuß mindestens dem Marktzins für Hypotheken entsprechen. Bei erhöhtem Risiko wird in der Praxis üblicherweise der Zinssatz pauschal erhöht /5.158/.

Bild 5.59 zeigt die Entwicklung des Marktzinses für Bauhypotheken sowie die in Heizkostenvergleichen unterstellten Kalkulationszinssätze, die als Punkte und Vierecke in die Grafik eingetragen sind.

Die Auswertung ergibt, daß bis auf wenige Ausnahmen die unterstellten Zinssätze unter dem Marktzins für Bauhypotheken liegen. Dies kann kein Einfluß einer anteiligen Eigenfinanzierung sein, da auch sonst eine enge Korrelation zur Marktzinsentwicklung gegeben sein müßte (vgl. /5.160/). Eine Reaktion auf die

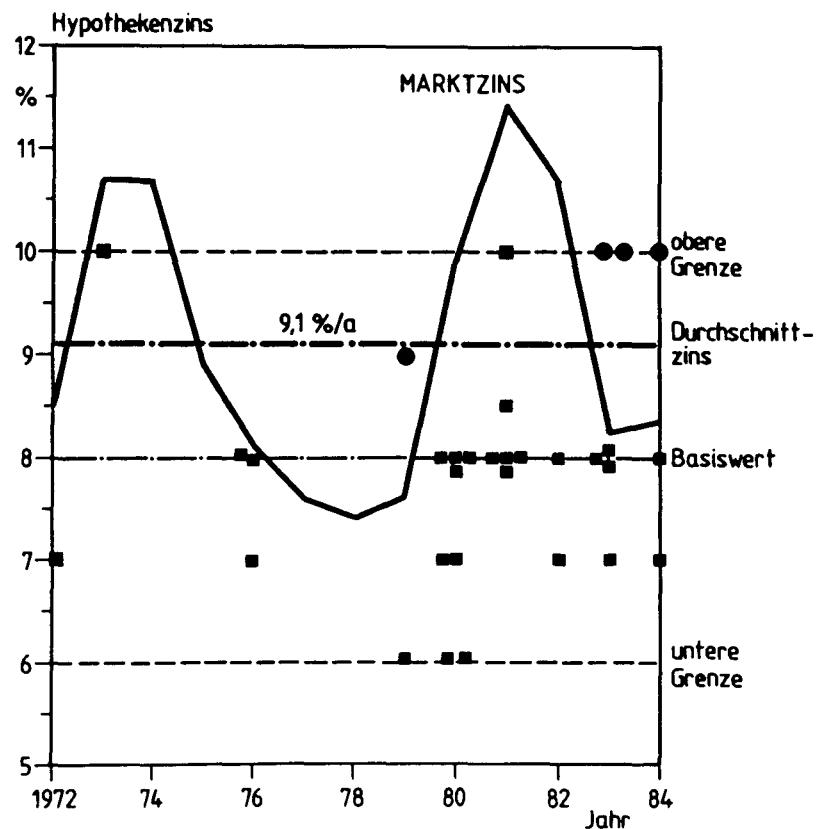


Bild 5.59: Entwicklungen des Marktzinses für Bauhypotheken /5.147, 5.159/ und in Heizkostenvergleichen angenommene Kalkulationszinssätze (Punkte, Vierecke) /5.133 - 5.136, 5.140 - 5.144/

Zinsentwicklung ist jedoch gegeben, sie bewegt sich im wesentlichen Bereich von 6 - 8 % und erreichte in Zeiten der Hochzinsphasen bis zu 10 %. In allen untersuchten Heizkostenvergleichen wurde für alle Systeme ein einheitlicher Zinssatz unterstellt, eine Differenzierung der Zinssätze zur unterschiedlichen Risikobewertung wurde nicht vorgenommen. Als Basiswert wird den Rechnungen der sehr häufige Zinssatz von 8 % zugrundegelegt. Für die Zinssätze von 6 % bzw. 10 % wird der Einfluß auf den Systemvergleich untersucht.

b) Nutzungsdauer

Die Korrektur der Nutzungsdauer eines Investitionsobjektes ist ebenfalls ein in der Praxis übliches Verfahren, das Risiko zu berücksichtigen. Für konventionelle Heizsysteme, die von den Nutzungsdauern nach VDI 2067 relativ zuverlässig abgeschätzt werden können, ist dieser Aspekt nicht von Bedeutung.

Die Korrektur der Nutzungsdauer gewinnt aber bei Systemen an Gewicht, deren Beurteilung aufgrund mangelnder Betriebserfahrung als unsicher gelten muß. Innerhalb der betrachteten Systeme ist dies der Fall bei Wärmepumpen. Dies gilt besonders für den Verdichter bzw. die Wärmequelle.

Mit der Ausgabe 1979 der VDI 2067 (Blatt 1) wurden erstmals von neutraler Seite Nutzungsdauern für elektrische Wärmepumpen genannt. Für Heizleistungen kleiner 10 kW werden für die Nutzungsdauer 8 Jahre genannt, darüber 10 Jahre. Mit der Ausgabe der Wärmepumpenrichtlinie der Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung (HEA) werden für die Wärmepumpe 15 Jahre angegeben /5.29/. Eine detailliertere Aufstellung der Nutzungsdauern einzelner Teile der Wärmepumpe zeigt die Tab. 5.5/5.161/. Eine pauschale Bewertung der Nutzungsdauern ist ergänzend dazu in Tab. 5.6 gegeben.

Berücksichtigt man bei der Beurteilung dieser Quellen, daß sie alle erst relativ kurzfristig verfügbar sind, so dokumentiert dies den Unsicherheits- bzw. Entscheidungsspielraum des Planers bei der Rechnung, zumal die Wärmequelle in diesen Richtlinien bis heute weitgehend unbewertet bleibt.

Den Basisrechnungen werden Nutzungsdauern für die Wärmepumpe und -quelle von 15 Jahren zugrundegelegt. Gegenüber dem Ölkessel ist damit eine um 5 Jahre geringere Nutzungszeit unterstellt. Als optimistischer Wert wird 20 Jahre angesetzt. Dieser Wert entspricht konventionellen Wärmeerzeugern und konnte als Bezugswert herangezogen werden, als es noch keine Richtlinien gab. Als pessimistischer Wert wird eine Lebensdauer von 10 Jahren, wie sie auch in der VDI-Richtlinie 1979 angegeben war, berücksichtigt.

Benennung		Nutzungsdauer in Jahren
Hubkolben- verdichter	Luft-Wasser WP	10 - 12
	Wasser-Wass. WP	12 - 15
	Wasser-Luft WP	
	Luft-Luft WP	
Verdampfer	Luft-Wasser WP	15
	Wasser-Wass. WP	15 - 20
Kondensator	Luft-Wasser WP	20
	Wasser-Wass. WP	18
	Wasser-Luft WP	
	Luft-Luft WP	
Kältemittelbehälter		20
Kältekreislauf inkl. Befestigung, Vibrationsabsorber, Kältemittel- und Oelleitungen, Kompensatoren		25
Instrumente und Armaturen im Kältekreislauf: Manometer, Thermometer, Absperrorgane		15
Regel- und Sicherheitseinrichtg.: Expansionsventil, Thermostate, Pressostate, Schütze, Relais, Filtertrockner u. Ölabscheider		10
Gehäuse		25
Isolation		25
Zusatzeinbauteile: Förderpumpen ( Rohreinbau )		10
Wärmetauscher Wasser/Brauchwasser mit Kupferbatterien		12
Ventilatoren		15

Tab. 5.5: Nutzungsdauern der wichtigsten Teile einer Elektrowärmepumpe /5.161/  
Stand: 1984

Benennung der Wärmepumpe	Wärmequelle	Betriebsweise	Nutzungsdauer in Jahren	Jährliche In- standhaltungs- kosten in % der Investition
Wasser-Wasser	Grundwasser	monovalent	15	2.0 - 2.5
		bivalent-parall.	12 - 15	2.5 - 3.0
		bivalent-altern.	15	2.0 - 2.5
	Oberflächen- wasser	monovalent	12 - 15	2.0 - 2.5
		bivalent-parall.	10 - 12	2.5 - 3.0
		bivalent-altern.	12 - 15	2.0 - 2.5
	Erdreich	monovalent	12 - 15	2.0 - 2.5
		bivalent-parall.	10 - 12	2.5 - 3.0
		bivalent-altern.	12 - 15	2.0 - 2.5

Tab. 5.6: Nutzungsdauern und Instandhaltungssätze für Elektrowärmepumpen /5.161/

c) Instandhaltungssatz

Für die Festsetzung von Instandhaltungssätzen ist diesselbe Ausgangslage wie bei Nutzungsdauern gegeben. Auch dieser Aspekt gilt nur besonders für Wärmepumpen zu betrachten. Die VDI-Richtlinie VDI 2067 (Blatt 1) des Jahres 1979 schlägt hier Richtwerte von 4 - 5 %/a vor. Diese Sätze liegen erheblich über den Sätzen konventioneller Anlagen. Für Ölkessel werden im ausführlichen Verfahren, nur in diesem werden Wärmepumpen bewertet, Werte von 1 % genannt. Die Tab. 5.6 gibt eine Spannbreite von 2 bis 3.5 %/a für die Wärmepumpe an. Die HEA-Richtlinie "Kostenrechnung Wärmepumpe" nennt für die Wärmequelle Wasser sowie für die elektrische Wärmepumpe 3 %.

Als Basiswert für die Rechnungen wird 3 %/a für den Instandhaltungssatz unterstellt (vgl. Bild 5.51). Mit 2,5 % bzw. 4 % werden optimistische bzw. pessimistische Erwartungen einbezogen.

#### 5.2.2.5 Berücksichtigung von Steuererleichterungen und Subventionen

Für den Kostenvergleich von Heizsystemen sind in den Jahren 1972 - 1984 zwei Arten von Finanzierungshilfen zu unterscheiden:

- a) Steuererleichterungen,
- b) Finanzierungszuschüsse.

##### a) Steuererleichterungen

Für die hier betrachteten Anlagen können grundsätzlich Steuererleichterungen nach § 7 b des Einkommenssteuer-Gesetzes (EStG) beansprucht werden /5.32/. Drei Aspekte verringern die Bedeutung der Steuererleichterungen nach § 7 b EStG:

1) Da häufig die Herstellungskosten des Hauses die Begünstigungshöhe nach § 7 überschreiten, ist es unsicher, wieweit die Heizanlagekosten als begünstigt angesehen werden können.

2) Die Begünstigung gilt für alle Systeme, führt somit zu keiner wesentlichen Differenzierung bei der Entscheidung.

3) In keinem der untersuchten Heizkostenvergleiche wurden Steuererleichterungen nach § 7 b EStG berücksichtigt.

Aus diesen Gründen bleiben diese Steuererleichterungen für die durchzuführenden Heizkostenvergleiche unberücksichtigt.

Im Rahmen des 4.35-Mrd-Programms der Bundesregierung wurde ab 1979 die Möglichkeit erhöhter Steuererleichterungen nach § 82 a der Einkommensteuer-Durchführungsverordnung (EStDV) für bestimmte Heizsysteme geschaffen. Innerhalb der hier betrachteten Heizanlagen konnten für Wärmepumpen und Fernwärmean-schlüsse, die überwiegend aus Kraft-Wärme-Erzeugungsanlagen gespeist werden, über zehn Jahre jährlich 10 % der absetzbaren Aufwendungen, abgeschrieben werden.



Diese Steuererleichterungen sind für die Heizkostenvergleiche von Bedeutung, da sie nur einen Teil aller Systeme begünstigen, so daß es zu Verschiebungen bei Investitionsentscheidungen kommen kann. Auf der anderen Seite ist die tatsächliche Steuererleichterung sehr stark von individuellen Annahmen abhängig, die nur schwer verallgemeinerbar sind. Die Anrechnung von Steuererleichterungen setzt voraus, daß überhaupt der volle Betrag absetzbar ist und nicht schon durch andere Steuererleichterungen weitgehend eingeengt ist.

In Heizkostenvergleichen, die Steuervorteile berücksichtigen, wird mit dem zu versteuernden Einkommen bzw. mit Grenzsteuersätzen gerechnet /5.21, 5.24/. Die unterstellten zu versteuernden Einkommen von 60 000 DM/a zeigen, daß mit Wärmepumpen zunächst Spitzenverdiener angesprochen werden sollten, denn diese Steuereinkommen können vor Abzug aller mindernden Abzüge durchaus 100 000 DM Jahresbruttoeinkommen beinhalten.

Die Förderung innerhalb eines Heizsystems bezieht sich dabei nur auf den förderbaren Teil. So ist bei einer bivalenten Elektrowärmepumpe nur die Zusatzinvestition für den Wärmepumpenteil abzugsfähig.

#### b) Finanzierungszuschüsse

Im Rahmen des 4,35-Mrd-DM-Programms wurden für innovative Systeme auf Antrag auch Finanzierungszuschüsse gewährt. Da das Fördervolumen begrenzt war, konnte nur ein Teil der Antragsteller bedient werden. Die Förderfähigkeit bezog sich wie bei Steuererleichterungen nur auf den innovativen Teil eines Heizsystems. Die Zuschußhöhe betrug 25 % des förderbaren Anteils, die Finanzierungsgrenze 12 000 DM je Wohnung.

c) Eingabewerte

In einer Vereinfachung der beiden Anspruchsgrundlagen wird vorausgesetzt, daß insgesamt 25 % des förderfähigen Anteils sofort abzugsfähig sind.

Die Anwendung auf Fernwärmeanschlüsse bezieht sich nur auf die hausgebundenen Investitionen (Hausstation), da ein Baukostenzuschuß zum Verteilungsnetz nicht förderbar ist. Bei Abzug von 25 % bezogen auf die Kosten für die Hausstation wird die Fördergrenze von 12 000 DM in der Regel nicht erreicht.

Bei den Wärmepumpensystemen ist die monovalente Grundwasser-Elektrowärmepumpe sowie die Wärmequelle voll förderbar, bei der bivalenten Wärmepumpe nur der Wärmepumpenanteil incl. Wärmequelle.

Sowohl bei bivalenten als auch besonders bei monovalenten Systemen kann die Fördergrenze erheblich überschritten werden. Das Beibehalten einer Zuschußhöhe von 25 % führt somit zu höheren Vorteilen als nach dem Zuschußverfahren möglich war.

Nimmt man als maximale förderbare Investition etwa 24 000 DM (das Beispiel orientiert sich an der monovalenten Grundwasser-Elektrowärmepumpe), so ergibt der 25 %-Ansatz einen Investitionsabzug von 6 000 DM.

Nach dem Zuschußverfahren war pro Wohneinheit ein Zuschuß von maximal 3 000 DM möglich. Für ein Einfamilienhaus (1 Wohnung) impliziert das gewählte Verfahren (6 000 DM) somit einen Zuschuß in doppelter Höhe, während für ein Zweifamilienhaus (2 Wohnungen) die Zuschußgrenze von 6 000 DM gerade erreicht wird (25 % von 24 000 DM).

### 5.3 Investitionsentscheidung unter den Gesichtspunkten der Werbung und der Absatzförderung der Energiewirtschaft

Werbung und Absatzförderung sind zwei wesentliche Bereiche des Marketings. Marketing kann beschrieben werden "als eine Einstellung des Unternehmers, die sich mit der Mobilisierung, der Ausnutzung und der Kontrolle der gesamten Unternehmensführung befaßt mit dem Ziel, dem Kunden zu helfen, seine Probleme zu lösen, und zwar mit Methoden, die geeignet sind, gleichzeitig den Gewinn des eigenen Unternehmens zu vergrößern /5.162/".

Ausgangspunkt eines modernen Marketingkonzeptes ist die Marktforschung. Dadurch erhalten Unternehmen Informationen über Wünsche, Einstellungen und Anforderungen der Kunden an Energieträger auf dem Wärmemarkt. Die Marktforschung liefert zugleich Informationen über die Position des eigenen Unternehmens (Marktanteils) und über Stärken und Schwächen der Substitutionsenergieträger. Da offizielle Statistiken der Energiewirtschaft diesem Informationsstand nicht genügen, betreiben größere Unternehmen der Energiewirtschaft in eigenen Abteilungen Marktforschung bzw. beauftragen Marktforschungsunternehmen zur Beschaffung der benötigten Daten /5.163/. Auf der Basis der Marktforschung wird ein sogenannter Marketing-Mix (Kombination aller Marketingfunktionen einschließlich Werbung und Absatzförderung) erarbeitet, mit dem die strategischen Unternehmensziele erreicht werden sollen /5.164/.

#### 5.3.1 Produktbild (Image) der Energieträger auf dem Wärmemarkt

Das Produktbild eines Gutes setzt sich aus Eindrücken zusammen, die teils bewußt und teils unbewußt vorhanden sind. Es wird geformt durch die objektiven Eigenschaften des Produktes und

durch subjektive Vorstellungen der Verbraucher /5.165, 5.166/.

Zur Aufgabe der Marktforschung gehört z. B., nach Einführung eines Produktes festzustellen, welches Produktimage beim Verbraucher vorliegt.

Falls das Ergebnis für das Unternehmen unbefriedigend ist, ist es erforderlich, einen neuen Soll-Zustand festzulegen, der durch konsequente Ausrichtung aller Werbe- und Public-Relations-Bemühungen auf dieses Ziel anzustreben ist /5.167/.

Zur Charakterisierung der Verbraucherwünsche auf dem Wärmemarkt haben sich vier Einschätzungskriterien als wesentlich herauskristallisiert /5.168/:

- Bequemlichkeit,
- Umweltfreundlichkeit,
- Preiswürdigkeit,
- Versorgungssicherheit.

Das in Bild 5.60 dargestellte Produktimage der Energieträger zeigt deutliche Auswirkungen der ersten Ölpreiskrise, es muß jedoch auch als Ergebnis früherer Marketingmaßnahmen zur Beeinflussung der Verbraucherhaltung gesehen werden.

Zum Zeitpunkt des Jahres 1978 schneiden Erdgas und Strom am günstigsten ab, während Heizöl und Kohle im Meinungsbild erheblich schlechter bewertet werden. Aus der Sicht negativer Extrembewertung fallen besonders auf:

- a) das negative Image der Kohle unter den Aspekten Bequemlichkeit und Umweltfreundlichkeit,
- b) die gering eingeschätzte Preiswürdigkeit des Stromes bzw. des Heizöls,
- c) der starke Abfall des Heizöls gegenüber den anderen Wettbewerbsenergieträgern aus der Sicht der Versorgungssicherheit.

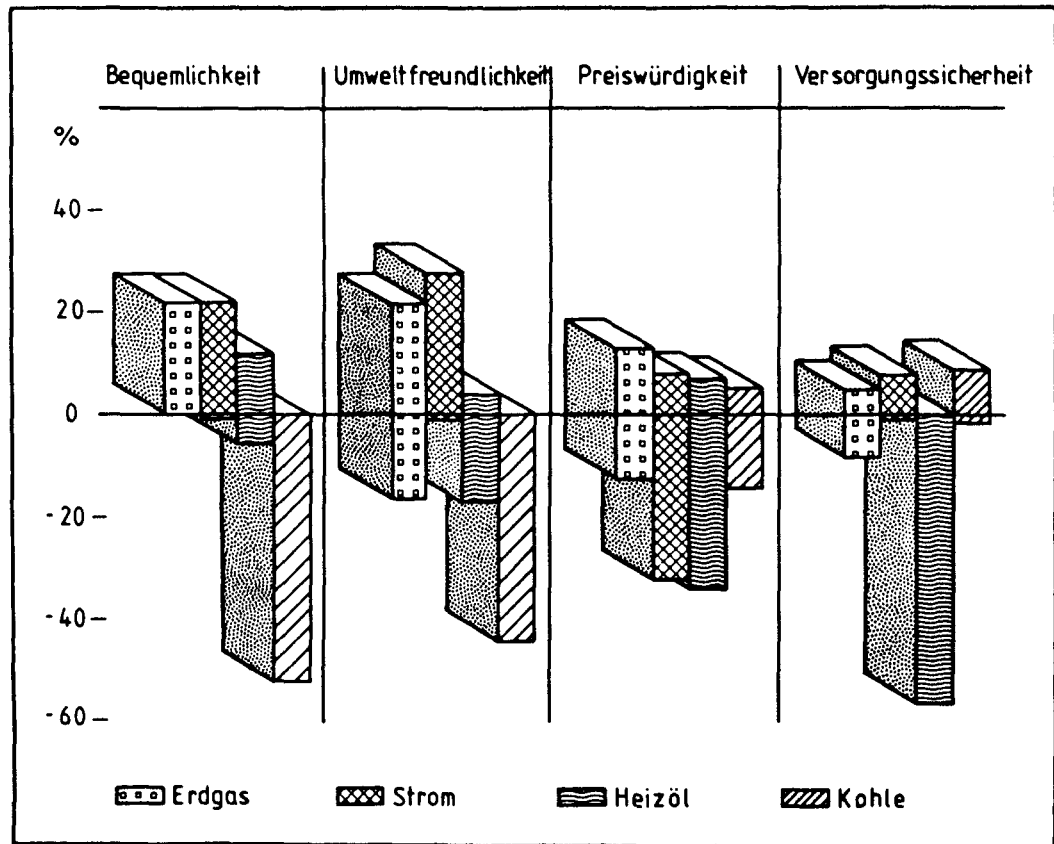


Bild 5.60: Bewertung der Wettbewerbsenergien auf dem Raumwärmemarkt nach Spontan-Zuordnung der Verbraucher (Stand 1978) /5.166/

Eine etwas allgemeinere Einschätzung der Verbraucherbewertung der konkurrierenden Energieträger auf dem Raumwärmemarkt gibt das Bild 5.61 wieder. Danach kann Strom im Jahre 1978 bis auf fehlende Zustimmung bei der Eigenschaft "Preiswürdigkeit" nahezu als idealer Energieträger auf dem Raumwärmemarkt bezeichnet werden. Rang 2 der Bewertung nimmt Erdgas ein, während Heizöl und Kohle mit Abstand folgen.

Die Analyse der einzelnen Kriterien läßt sich nicht ohne weiteres auf den Kaufentscheid übertragen. Wichtig ist aber, daß der Einfluß des Produktbildes um so stärker ist, je irrationaler die Kaufentscheidung ist. Das ist bei Konsumware stärker der Fall als bei "industrienahen" Produkten /5.169/.

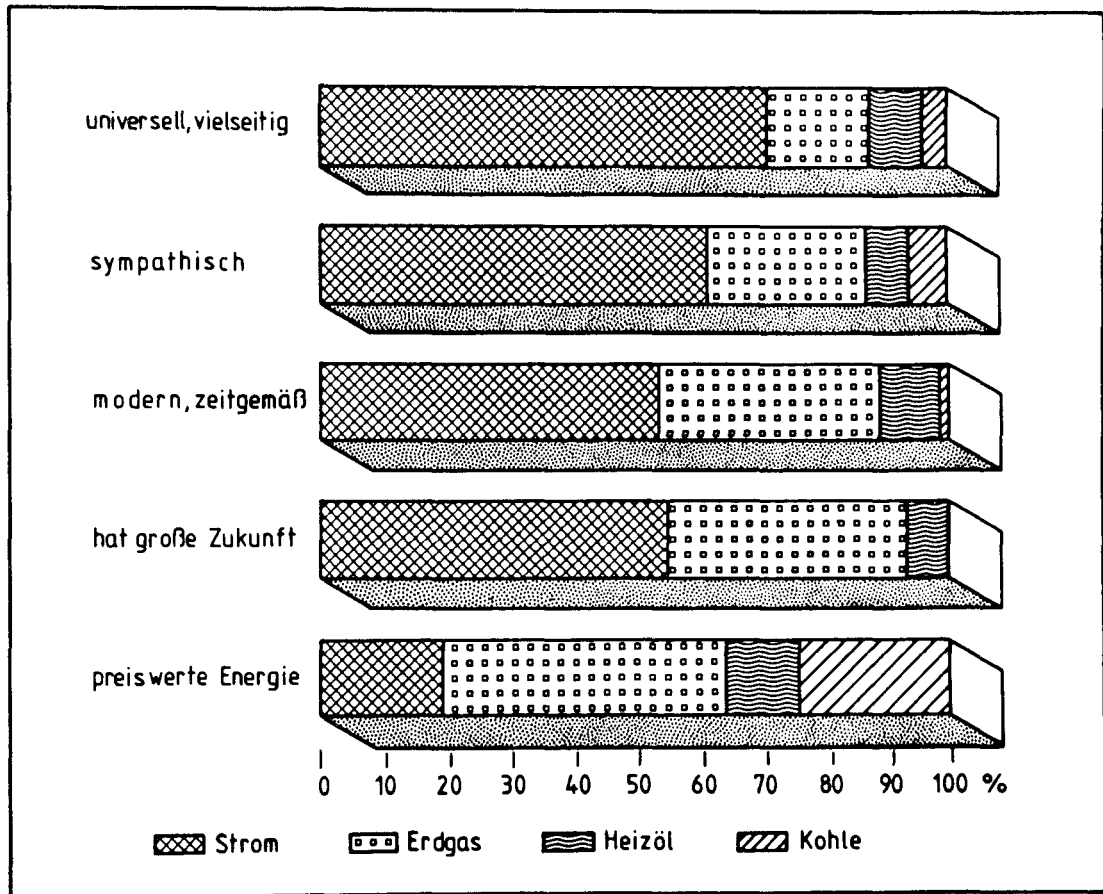


Bild 5.61: Verbraucherbewertung der Raumwärmeenergien  
(Stand 1978) /5.166/

### 5.3.2 Beeinflussung von Zielgruppen durch Entscheidungshilfe "Heizkostenvergleich"

Heizkostenvergleiche werden in den einzelnen Zweigen der Energiewirtschaft als Entscheidungshilfe für die eigenen Produkte erarbeitet. Sie dienen den Energieberatern als Argumentationshilfe für das Kundengespräch. Daneben gelten sie als Hilfsmittel für Zielgruppen wie Architekten, Bauherren und Wohnungsbaugesellschaften.

Die Bewertung des verfügbaren Materials führt zu folgenden Ergebnissen:

1. Als einziger Zweig der Energiewirtschaft hat die Gaswirtschaft den genannten Zielgruppen über den Betrachtungszeitraum 1972 - 1984 ausführliche Heizkostenvergleiche zur Verfügung gestellt /5.142/. Bei der Annahmengestaltung wurde konsequent

Vorteilsmarketing angewendet. Weiterhin wird ständig auf die Notwendigkeit der Beratung nach dem Vollkostenprinzip hingewiesen, da die Gasheizung erst so im Vergleich mit dem Hauptwettbewerber Heizöl günstig abschneidet. Um Erdgas besonders preisgünstig hinzustellen, wurde nach der Umstellung von dem Raummaß ( $\text{Pf/m}^3$ ) auf die kalorische Maßeinheit ( $\text{Pf/kWh}$ ) der Arbeitspreis auf den Brennwert bezogen, während in den Geräten tatsächlich nur der Heizwert genutzt werden kann (Brennwertgeräte waren noch nicht verfügbar). Wenn auch die Energiekosten exakt berechnet werden, bewirkt diese Maßnahme optisch eine Preiswürdigkeit des Erdgases, die tatsächlich nicht gegeben ist.

2. Der letzte breit angelegte Heizkostenvergleich der Unternehmen der Mineralölwirtschaft stammt aus dem Jahre 1971 /5.170/. Im Zeitraum der Ölpreiskrisen wurden keine Heizkostenvergleiche veröffentlicht /5.171/. Nach den Ölpreiskrisen konzentrierte sich die Mineralölwirtschaft auf die Kosten der Umstellung von Heizöl auf Erdgas, um die Unvorteilhaftigkeit dieser Maßnahme aufzuzeigen /5.172/.

3. Breit angelegte Kostenvergleiche der Stromwirtschaft waren erst 1980 verfügbar, als sich die Position der elektrischen Heizsysteme von der Energiekostenseite gegenüber dem Marktführer Heizöl erheblich verbessert hatte /5.143/. Auch die Elektrizitätswirtschaft bedient sich bei der Annahmengestaltung des Vorteilsmarketings, konnte aber lediglich die konventionellen elektrischen Systeme als besonders günstig herausstellen, Wärmepumpensysteme blieben in diesen statisch durchgeführten Wirtschaftlichkeitsvergleichen im Neubau an der Schwelle zur Wirtschaftlichkeit. Möglicherweise blieben diese Heizkostenvergleiche daher der internen Verwendung vorbehalten.

4. Die Kohle, die am Wärmemarkt in Ein- und Zweifamilienhäusern in Neubauten nur geringe Anteile hat, hat auch nach der erheblich verbesserten Preissituation nach dem 2. Ölpreisschock der Öffentlichkeit keine Heizkostenvergleiche zur Verfügung gestellt.

5. Die Fernwärme befindet sich in einer besonderen Situation, da sie als einzige über regional stark eingegrenzte Märkte verfügt. Die Beratung erfolgt im Rahmen der Erschließung eines Gebietes. Dabei werden Kunden umfassend auch unter Kostengesichtspunkten beraten, Heizkostenvergleiche werden jedoch wegen der äußerst unterschiedlichen Bedingungen nicht veröffentlicht /5.173/.

#### 5.4 Investitionsentscheidung und neutrale Verbraucherberatung

Im Rahmen der Verbraucherorientierung der Energieprogramme der Bundesregierung gibt es seit 1978 Fördermittel für kostenlose, neutrale und sachkundige Beratung /5.174/. Träger ist die 1978 gegründete Arbeitsgemeinschaft der Verbraucher (AGV), die gemeinsam mit Verbraucherzentralen und anderen Mitgliedsverbänden die unabhängige Beratung über Möglichkeiten der Energieeinsparung und der rationellen Energieverwendung wahrnimmt.

In der Bundesrepublik gibt es etwa 140 Beratungsstellen, in denen Energieberater auf Honorarbasis (vorwiegend Ingenieure) arbeiten. Sie sind zur kommerziellen Neutralität verpflichtet /5.175/.

Infolge der kommerziellen Neutralität ist die Beratung relativ allgemein gehalten. Hinweise zur Wirtschaftlichkeit werden eher allgemein umrissen, Heizkostenvergleiche werden nicht angeboten /5.176/. Die Anzahl der Beratungsfälle betrug 1980 etwa 18000, während 1984 ca. 45 000 Besucher bei der Verbraucherberatung um Rat baten /5.175/.

Sowohl vom Zeitpunkt des Beratungsbeginns als auch vom Umfang der Beratung wird somit deutlich, daß neutrale Beratung für die Investitionsentscheidung im betrachteten Zeitraum 1972 - 1984 keinen nennenswerten Einfluß hatte.



Literatur zu Kapitel 5

- /5.1/ Wöhe, G.,  
Einführung in die Allgemeine Betriebs-  
wirtschaftslehre, S. 367,  
München, 1972,
- /5.2/ Schneider, E.,  
Wirtschaftlichkeitsrechnung,  
Tübingen, Zürich, 1961
- /5.3/ Langguth, R., Rautenberg, H. G.,  
Finanzierung und Investitions-  
rechnung, S. 43,  
Düsseldorf, 1976
- /5.4/ Däumler, K. D.,  
Investitions- und Wirtschaftlich-  
keitsrechnung, S. 105,  
Herne, Berlin, 1976
- /5.5/ Schneider, E.,  
a.a.O., S. 26
- /5.6/ Däumler, K. D.,  
a.a.O., S. 87
- /5.7/ VDI 2067/57,  
Richtwerte zur Vorausberechnung der Wirt-  
schaftlichkeit verschiedener Brennstoffe  
bei Warmwasser-Zentralheizungsanlagen,  
Berlin, Köln, 1957
- /5.8/ VDI 2067/74 - Bl. 1,  
Wirtschaftlichkeitsrechnungen von Wärme-  
verbrauchsanlagen, Blatt 1 - Betriebs-  
technische und wirtschaftliche Grundlagen,  
Berlin, Köln, 1974
- /5.9/ VDI 2067/74 - Bl. 2,  
Wirtschaftlichkeitsrechnungen von Wärme-  
verbrauchsanlagen, Blatt 2 - Raumheizungs-  
anlagen,  
Berlin, Köln, 1974
- /5.10/ VDI 2067/79 - Bl. 1,  
Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungs-  
anlagen, Blatt 1 - Betriebstechnische und  
wirtschaftliche Grundlagen,  
Berlin, Köln, 1979
- /5.11/ VDI 2067/79 - Bl. 2,  
Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungs-  
anlagen, Blatt 2 - Raumheizung,  
Berlin, Köln, 1979

- /5.12/ VDI 2067/83 - Bl. 1,  
Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungs-  
anlagen, Blatt 1 - Betriebstechnische und  
wirtschaftliche Grundlagen,  
Berlin, Köln, 1983
- /5.13/ VDI 2067/85 - Bl. 2,  
Berechnung der Kosten von Wärmeversorgungs-  
anlagen, Blatt 2 - Raumheizung,  
Berlin, Köln, 1985
- /5.14/ VDI 2067/74 - Bl. 1,  
Wirtschaftlichkeitsrechnungen,  
a.a.O., S. 3
- /5.15/ VDI 2067/79 - Bl. 1,  
Berechnung,  
a.a.O., S. 2
- /5.16/ Däumler, K. D.,  
Investitions- und Wirtschaftlichkeits-  
rechnung,  
a.a.O., S. 33
- /5.17/ Gerken, A., Konstantinidis, P.,  
Die dynamische Annuitätenmethode - eine  
praxisnahe finanzmathematische Methode  
für den Wirtschaftlichkeitsvergleich  
von Energieversorgungskonzepten,  
Zeitschrift für Energiewirtschaft,  
3/1985, S. 165
- /5.18/ Suding, P., Melzer, M., Seifert, B.,  
Wirtschaftlichkeitsanalysen von Ener-  
gieversorgungskonzepten,  
Zeitschrift für Energiewirtschaft,  
3/1985, S. 156
- /5.19/ v. Cube, H. L.,  
Über die Wirtschaftlichkeit von  
Wärmepumpen,  
Haustechnische Rundschau,  
6/1981, S. 404
- /5.20/ Müller, H.,  
Bewertung der Wirtschaftlichkeit  
von regenerativen Energien,  
ISES/BSE-Fachtagung,  
München, 1982, S. 119
- /5.21/ Picken, G., Stoy, B.,  
Wirtschaftlichkeitsanalyse von  
Elektrowärmepumpen zur Hausheizung,  
Energiewirtschaftliche Tagesfragen,  
Heft 122/1983, Sonderdruck

- /5.22/ Hansen, U.,  
Reale und nominale Energiekosten,  
Energiewirtschaftliche Tagesfragen,  
33 (1983), H. 4, S. 218
- /5.23/ Schaumann, G., Schwarz, E.,  
Programmierte dynamische Wirtschaft-  
lichkeitsrechnung für energiesparende  
Investitionen,  
HLH 34 (1983), Nr. 11, S. 469
- /5.24/ Michel, A.,  
Wirtschaftlichkeit von bivalenten  
Luft/Wasser-Wärmepumpen unter Be-  
rücksichtigung von Teuerungsraten und  
steuerlichen Abschreibungsmöglichkeiten,  
HLH 34 (1983), Nr. 2, S. 47
- /5.25/ Grebe, H. et al.,  
Dynamische Wirtschaftlichkeitsrechnung -  
eine unentbehrliche Entscheidungshilfe,  
HLH 33 (1982), Nr. 1, S. 33
- /5.26/ Geusen, R.,  
Neue Wege zur rechnerischen Lösung von  
Wirtschaftlichkeitsproblemen unter Be-  
rücksichtigung dynamischer Preisentwicklungen,  
HLH 31 (1980), Nr. 10, S. 353
- /5.27/ Rostek, A., Haarmann, N.  
Dynamische Wirtschaftlichkeitsberechnung  
für den Praktiker,  
HLH 32 (1981), Nr. 8, S. 300
- /5.28/ Däumler, K. D.,  
Sonderprobleme,  
a.a.O., S. 82/83
- 5.29/ Hauptberatungsstelle für Elektrizitäts-  
anwendung e. V., Frankfurt,  
Kostenrechnung Wärmepumpe,  
Heidelberg, 1981
- /5.30/ Schneider, E.,  
a.a.O., S. 32
- /5.31/ Landesbausparkasse Bremen,  
Bausparbibliothek - Die Finanzierung,  
Bremen, 1974, S. 29
- /5.32/ Kollmann, H.,  
Marktchancen von Gasheizsystemen im Wett-  
bewerb mit den relevanten Alternativen,  
gwf - gas/erdgas 126 (1985), H. 5, S. 261
- /5.33/ Däumler, K. D.,  
Sonderprobleme,  
a.a.O., S. 68

- /5.34/ Däumler, K. D.,  
Investitions- und Wirtschaftlichkeits-  
rechnung,  
a.a.O, S. 146
- /5.35/ Däumler, K. D.,  
Sonderprobleme,  
a.a.O., S. 91
- /5.36/ Schneider, E.,  
a.a.O., S. 125
- /5.37/ Schneider, H. K.,  
Der anlegbare Gaspreis,  
Energiewirtschaft 1/1978, S. 14
- /5.38/ Hartmann, B.,  
Preisbildung und Preispolitik,  
Stuttgart, 1963, S. 9
- /5.39/ Michaelis, H.,  
Die Preisbildung in der  
Energiewirtschaft,  
Energiewirtschaftliche Tagesfragen,  
H. 8/1983, S. 533
- /5.40/ Kollmann, H.,  
Der gegenwärtige Stand der volkswirt-  
schaftlichen Preistheorie unter besonderer  
Berücksichtigung der anbietenden Unternehmung,  
unveröffentlichte Diplomarbeit an der TU  
Braunschweig, 1974, S. 20
- /5.41/ Friedrichs, H.,  
Probleme einer längerfristigen Energiepolitik,  
in: Neuorientierungen der Energiewirtschaft,  
München, 1975, S. 179
- /5.42/ Schmitt, D., Schürmann, I.,  
Die Anpassungsaufgaben als Herausforderung markt-  
wirtschaftlicher Energiepolitik,  
in: Die Energiewirtschaft zu Beginn der 80er Jahre,  
München, 1980, S. 6
- /5.43/ Schneider, H. K.,  
Energiepreise - mehr Markt oder mehr Staat?  
in: Preisbildung in der Energiewirtschaft,  
München, 1977, S. 18
- /5.44/ Düngen, H.,  
Subventionen in der deutschen Energie-  
wirtschaft von 1979 bis 1989,  
Zeitschrift für Energiewirtschaft, 4/1984, S. 262
- /5.45/ Deutsche Shell AG,  
Unterrichtsmodell Energie,  
Hamburg 1981, S. 165

- /5.46/ Deutsche Shell AG,  
Weltenergie - Daten und Fakten,  
Hamburg, 1985, S. 7
- /5.47/ Glückauf GmbH,  
Taschenbuch des Brennstoffhandels 82/83,  
Essen, S. 26
- /5.48/ Deutsche Shell AG,  
a.a.O., S. 165
- /5.49/ Holm, K. F.,  
Heizöl wird wirklich gespart,  
Öl, 8/1980, S. 210
- /5.50/ Klaue, S.,  
Strukturelle Veränderungen im  
Mineralölsektor und wettbewerbs-  
politische Implikationen,  
Zeitschrift für Energiewirtschaft 1/1985, S. 35
- /5.51/ Müller, K. W.,  
Preisbildung auf dem Mineralölmarkt,  
Zeitschrift für Energiewirtschaft,  
2/1982, S. 109
- /5.52/ Bundesministerium für Wirtschaft,  
Daten zur Entwicklung der Energiewirtschaft in  
der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1984,  
Bonn, 1985, S. 29
- /5.53/ Holm, K. F.,  
Verhalten,  
Esso-Magazin 1/1980, S. 20
- /5.54/ Deutsche Shell AG,  
a.a.O., S. 155/156
- /5.55/ Bundesministerium für Wirtschaft,  
Daten zur Entwicklung der Energiewirtschaft in  
der Bundesrepublik Deutschland,  
Ausgabe 1978, Bonn, 1979, S. 35  
Ausgabe 1984, Bonn, 1985, S. 33
- /5.56/ Deutsche Shell AG, Hamburg,  
persönliche Information
- /5.57/ BP Strohmeyer GmbH, Jülich,  
persönliche Information
- /5.58/ Deutsche Total GmbH,  
Verkaufsbüro West, Neuss,  
persönliche Information
- /5.59/ VWD-Wirtschaftsdienst,  
Preisspiegel Roh- und Heizöl,  
v. 8.11.1984 (Dortmund)

- /5.60/ Schiffer, H. W.,  
Preisbildung für Mineralöl und Steinkohle auf dem Energiemarkt der Bundesrepublik Deutschland,  
VIK-Mitteilungen 3/1985, S. 53
- /5.61/ o. Verfasser,  
Der Mineralölverbrauch in der Bundesrepublik,  
OEL 4/1981, S. 104
- /5.62/ Schleitzer, H.,  
Preisanpassungsklauseln in der Gaswirtschaft - multiplikativ oder additiv?  
Energiewirtschaftliche Tagesfragen 38 (1985), H. 7, S. 476
- /5.63/ o. Verfasser,  
Öl wieder im Aufwind?  
ZfK 11/1984, S. 10
- /5.64/ o. Verfasser,  
ZfK, 61 1985, S. 6
- /5.65/ Deutsche Shell AG,  
a.a.O., S. 205
- /5.66/ Holthausen, D. et al.,  
Die Entwicklung der Gaswirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1972,  
gwf-gas/erdgas 114 (1973), S. 425
- /5.67/ Holthausen, D.,  
a.a.O., S. 435
- /5.68/ o. Verfasser,  
Zeit der Entscheidung,  
ZfK, 9/84, S. 5
- /5.69/ Bundesverband der Deutschen Gas- u. Wasserwirtschaft e. V., Bonn,  
erdgas-Kompaß, Frankfurt, 1981, S. 36
- /5.70/ Ueberhorst, W.,  
Neue Gaspreisstruktur in Bielefeld,  
gwf-gas/erdgas 115 (1974), S. 216
- /5.71/ Loer, G.,  
Mindestpreisregelung (MPR) in allgemeinen (genormten) Sonderverträgen für Gasvollversorgung,  
gwf-gas/erdgas 122 (1981), H. 5., S. 214
- /5.72/ Klüss, H.,  
Der langfristige Absatzplan für Erdgas als Bestandteil der Unternehmensplanung,  
gwf-gas/erdgas 111 (1970), H. 9, S. 508

- /5.73/ Späth, F.,  
Die Preisbildung für Erdgas,  
Zeitschrift für Energiewirtschaft  
3/1982, S. 148
- /5.74/ Scherzer, G.,  
Preisbildung und Absatzförderung im  
Zeichen des Erdgases,  
gwf-gas/erdgas 111 (1970), H. 7, S. 362
- /5.75/ Seubert, F.,  
Gasmarketing heute,  
gwf-gas/erdgas 117 (1976), H. 11, S. 483
- /5.76/ Stubel, G.,  
Moderne Gaspreisgestaltung als aktuelle  
Verkaufsaufgabe,  
gwf-gas/erdgas 113 (1972), H. 12, S. 570
- /5.77/ o. Verfasser,  
Preiszuschlag für Gas marktwidrig,  
ZfK 11/1984, S. 5
- /5.78/ Thyssen-Gas GmbH, Duisburg,  
persönliche Information
- /5.79/ Statistisches Bundesamt,  
Preise und Preisindices für die  
Lebenshaltung, Fachserie 17, Reihe 7,  
Wiesbaden, Ausgaben 1977 und 1984
- /5.80/ Bundesverband der deutschen Gas- und  
Wasserwirtschaft e. V.,  
Kosten der Raumheizung und Warmwasser-  
bereitung,  
BGG-Schriftreihe Heft 10, 1976  
Heft 20, 1981  
Heft 25, 1983  
Heft 33, 1984/85
- /5.81/ Verbändekonsortium,  
Parameterstudie "Versorgungskonzepte",  
Bd. A 2, Bonn, o. Datum, S. 44  
(vorläufige Fassung)
- /5.82/ Deutsche Shell AG,  
a.a.O., S. 197
- /5.83/ Stadtwerke Düsseldorf,  
persönliche Information
- /5.84/ Vereinigte Elektrizitätswerke, Dortmund,  
persönliche Information
- /5.85/ Deutsche Shell AG,  
a.a.O., S. 199

- /5.86/ Deutsche Shell AG,  
a.a.O., S. 181
- /5.87/ o. Verfasser,  
Flüssiggas aus der Nordsee,  
Erdöl Nachrichten 7/84, S. 3
- /5.88/ o. Verfasser,  
Gruener: Verdopplung des Flüssiggas-  
verbrauchs bis 1995,  
VWD-Energie, 11.05.82, S. 4
- /5.89/ Reh, H. J.,  
Kleinere Engpässe können über-  
brückt werden,  
Handelsblatt, 31.03.1981, S.
- /5.90/ o. Verfasser,  
Flüssiggas-Terminal in Emden geht  
in Betrieb,  
VWD-Energie, 24.04.1985, S. 2
- /5.91/ Rheingas GmbH, Brühl,  
persönliche Information
- /5.92/ Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk,  
Informationsblatt RWE 1983/1984,  
ohne Datum, Essen
- /5.93/ Schiffer, H. W.,  
Die Elektrizitätswirtschaft der  
Bundesrepublik Deutschland,  
Zeitschrift für Energiewirtschaft 4/1982, S. 228
- /5.94/ Beissel, H.,  
Die entsprechende Anwendung der Leitsätze für  
die Preisermittlung aufgrund von Selbstkosten (LSP)  
bei der Genehmigung von Strompreiserhöhungen für  
Tarifabnehmer,  
Energiewirtschaftliche Tagesfragen 33 (1983),  
H. 8, S. 540
- /5.95/ Weber, R.,  
Mini-Lex der Energie,  
Bd. 1 Elektrizität,  
Köln, 1982, S. 153
- /5.96/ Horn, M.,  
Stromtarife als Instrument der  
Energiesparpolitik?  
ifo-Schnelldienst 36/1978, S. 11
- /5.97/ Buderath, J.,  
Die Geschichte des Rheinisch-West-  
fälischen Elektrizitätswerks 1898 - 1984,  
Essen, 1985, S. 65



- /5.98/ Behrndt, E.,  
Tarifliche Grundlagen der Stromversorgung  
im Haushaltssektor,  
HLH 28 (1977), Nr. 1, S. 35
- /5.99/ Cramer, G. et al.,  
Allgemeine Tarife - endlich kundenfreundlich,  
Energiewirtschaftliche Tagesfragen  
33 (1983), H. 11, S. 832
- /5.100/ Luther, G.,  
Zum Anwendungspotential eines Zeitzonentarifs  
für den Stromverbrauch in Haushalten,  
BWK 30 (1978), Nr. 7, S. 281
- /5.101/ Eickenhorst, H.,  
Wärmepumpen,  
Karlsruhe, 1982, S. 110
- /5.102/ Buderath, J.  
a.a.O., S. 68
- /5.103/ Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk,  
persönliche Information
- /5.104/ Verbändekonsortium -  
Parameterstudie,  
a.a.O., S. 44
- /5.105/ Bundesministerium für Wirtschaft,  
Wichtige Energiedaten im Überblick,  
Bonn, 1984, S. 64
- /5.106/ o. Verfasser,  
Strompreisgefälle,  
ZfK 11/1982, S. 7
- /5.107/ Bundesminister für Forschung und  
Technologie,  
Gesamtstudie über die Möglichkeiten der  
Fernwärmeversorgung aus Heizkraftwerken in  
der Bundesrepublik Deutschland,  
Bonn, 1977, S. 31
- /5.108/ Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e. V.,  
Die Fernwärmewirtschaft,  
Frankfurt, 1983, S. 14
- /5.109/ Wehr, R., Tautz, A.,  
Berechnung komplizierter Fernwärme-  
Verbundsysteme,  
FWI 8 (1978), H. 5, S. 247
- /5.110/ Vereinigte Elektrizitätswerke, Dortmund,  
Fernwärme im Wettbewerb der Heizenergien,  
VEW + Wirtschaft, März 1985, S. 30

- /5.111/ Bundesminister für Forschung und Technologie,  
Gesamtstudie,  
a.a.O. S. 123
- /5.112/ Stief, H.,  
Hauptbericht der Fernwärmeversorgung 1976,  
FWI, 1977, S. 241/250
- /5.113/ Kröhner, P., Reinhard, K.,  
Hauptbericht der Fernwärmeversorgung 1984,  
FWI 14 (1988), H. 6, S. 297
- /5.114/ Kreuzberg, J.,  
Abrechnung von Wärme aus Fernwärmenetzen  
und Heizzentralen,  
FWI 36 (1985), Nr. 4, S. 186,  
Nr. 5, S. 226, Nr. 6, S. 302
- /5.115/ Luther, G.,  
Fernwärmeparität und Anreiz zur rationellen  
Energieverwendung,  
BWK 29 (1977), Nr. 3, S. 89
- /5.116/ Dommann, D.,  
Fernwärme-Preiskonditionen verschiedener  
Versorgungsunternehmen,  
FWI 1 (1972), H. 3, S. 73
- /5.117/ GWH Hürth (Köln),  
Wärmelieferungsvertrag,  
Anlage 5 - Preisregelung für Raumheizung,  
Hürth (Köln), 1982
- /5.118/ Bundesminister für Forschung und  
Technologie,  
Gesamtstudie,  
a.a.O., S. 138
- /5.119/ Krupp, H. J.,  
Bedeutung der Fernwärme unter gesamt-  
wirtschaftlichen Gesichtspunkten,  
FWI 13 (1984), H. 4, S. 173
- /5.120/ Müller, K.,  
Fernwärme-Preisvergleich 1974,  
FWI 3 (1975), Nr. 3, S. 77 - 87
- /5.121/ Müller, K.,  
Fernwärme-Preisvergleich 1976,  
FWI 6 (1977), H. 4, S. 156/166
- /5.122/ Kröhner, P.,  
Fernwärme-Preisvergleich 1978,  
FWI 9 (1980), H. 3, S. 179/190
- /5.123/ Kröhner, P.,  
Fernwärme-Preisvergleich 1980,  
FWI 11 (1982), H. 2, S. 80/96

- /5.124/ Kröhner, P., Reinhard, K.,  
Fernwärme-Preisvergleich 1982,  
FWI 12 (1983), H. 4, S. 207/221
- /5.125/ Kröhner, P., Reinhard, K.,  
Fernwärme-Preisvergleich 1984  
FWI 14 (1985), H. 4, S. 147/161
- /5.126/ Hadenfeld, A.,  
Die Wärmepumpe im Wettbewerb der  
Heizungssysteme,  
elektrowärme international 37 (1979), S. 746
- /5.127/ Seibt, S.,  
Heizkosten in einem Einfamilienhaus,  
Energiewirtschaftliche Tagesfragen 26 (1976),  
H. 9, S. 513
- /5.128/ o. Verfasser,  
Gratis gibt 's nur den Sonnenschein,  
DM extra, S. 115
- /5.129/ Stiftung Warentest e. V.,  
Kohle-Öl-Gas-Strom?  
Test, Heft 11 (1973, S. 539)
- /5.130/ Kohave, H.-J.,  
Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen  
an Zentralheizungen,  
Sanitär- und Heizungstechnik 11 (1985), S. 665
- /5.131/ Kamm, K.,  
Energie-Kosten-Prognose für elektrisch bivalent-  
alternativ betriebene Luft/Wasser-Wärmepumpen im  
Wohnbereich,  
Klima-Kälte-Heizung 3/1980, S. 105
- /5.132/ Jelonnek, K.,  
Elektrowärmepumpen für Ein- und Zweifamilienhäuser -  
Primärwärmequellen im Vergleich,  
elektrowärme international 42 (1984), S. A 157
- /5.133/ Schwedler, R.,  
Vergleich verschiedener Heizsysteme und Energie-  
träger für Zentralheizungs- und Warmwasserbe-  
reitungsanlagen,  
Wärme-, Klima- und Sanitärtechnik 1969,  
H. 9, S. 265/270
- /5.134/ Thyssengas AG,  
Heizkostenvergleich Wohnungsbau,  
Duisburg, 1966
- /5.135/ Postenrieder, E.,  
Erhöhte Wirtschaftlichkeit der Heizung durch  
Wärmedämmung,  
Haustechnische Rundschau, H. 5, 1973, S. 141/146

- /5.136/ Müller, H.,  
Die Wirtschaftlichkeit elektrischer Wärmepumpen zur Wohnraumbeheizung,  
Energiewirtschaftliche Tagesfragen 33 (1983),  
H. 7, S. 448/452
- /5.137/ Schaumann, G., Schwarz, E.,  
Eine programmierte Wirtschaftlichkeitsanalyse  
für energiesparende Investitionen,  
elektrowärme international 41 (1983),  
S. A. 101/104
- /5.138/ o. Verfasser,  
Die Vollspeicher-Fußbodenheizung  
im Wohnbau,  
elektrowärme international 40 (1982),  
S. A. 84
- /5.139/ Jacobi, E.,  
Heizung, Wärmedämmung und Warmwasser-  
bereitung in Einfamilienhäusern bei ver-  
schiedenen Energiearten,  
Energiewirtschaftliche Tagesfragen 16 (1966),  
Fachheft
- /5.140/ Verbändekonsortium,  
Parameterstudie Versorgungskonzepte,  
Datenblätter zu Bd. 3.1 - Gebäudeinterne  
Wärmeversorgungssysteme (Anhang),  
Bonn, 1982, vorläufige Fassung
- /5.141/ Schmidt + Reuter, Köln,  
persönliche Information über leistungsbezogene  
Kostenstrukturen Fernwärme
- /5.142/ Bundesverband der deutschen Gas- und Wasser-  
wirtschaft e. V., (BGW),  
Kosten der Raumheizung und Warmwasserbereitung,  
BGW-Schriftenreihe, Ausgabe 1971  
" " , Heft 10, 1976  
" " , " 20, 1981  
" " , " 25, 1983  
" " , " 28, 1984  
" " , " 39, 1984/85
- /5.143/ Verband der Elektrizitätswerke  
Baden-Württemberg, e. V.,  
Heizkostenvergleich Elektro-Raumheizung,  
Stuttgart, Ausgaben 1980, 1981, 1983-85
- /5.144/ Fördergesellschaft Technischer Ausbau,  
Wärmepumpen zur Hausheizung,  
Bonn, o. Datum
- /5.145/ Fördergesellschaft Technischer Ausbau,  
Heizkostenvergleiche für Einfamilienhäuser  
verschiedener Leistung,  
Bonn, o. Datum, unveröffentlicht

- /5.146/ o. Verfasser,  
Materialpreisindex der HLK-Industrie,  
cci 9/1982, S. 2,
- /5.147/ Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen  
und Städtebau,  
Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von  
Bauobjekten unter Verwendung von Investitions-  
rechnungsverfahren, Reihe 04/089, Bonn, 1983
- /5.148/ Statistisches Bundesamt,  
Statistisches Jahrbuch für die Bundes-  
republik Deutschland 1984,  
Wiesbaden, 1985, S. 498
- /5.149/ Viessmann Werke KG,  
Preisliste 82/Ia,  
Allendorf, 1982
- /5.150/ Doetsch, W. et al.,  
Beispiele über ausgeführte Wärme-  
schutzmaßnahmen im Wohnungsneubau,  
Essen, 1970
- /5.151/ Orth, D.,  
Niedertemperatur-Wärmeversorgung  
unter besonderer Berücksichtigung aus-  
gewählter neuer Technologien,  
KFA Jülich GmbH,  
Jül-Spez-65,  
Jülich, 1979
- /5.152/ Heizungsbetriebs-Verordnung,  
BGBI. 1978, Teil I, S. 1584/1585
- /5.153/ Holler, F.,  
Eingriffe der Rechtsverordnungen in die  
Heiztechnik von Gebäuden - im besonderen  
am Beispiel eines Krankenhauses,  
Haustechnische Rundschau, Februar 1979, S. 70/97
- /5.154/ o. Verfasser,  
Wartungsvertrag oder Selbsthilfe?  
test, 3/81, S. 260/262
- /5.155/ Prinz, W.,  
Das Flensburger Energiekonzept,  
Sonderdruck Nr. 3117 aus Fernwärme International
- /5.156/ Schneider, E.,  
Wirtschaftlichkeitsberechnung,  
a.a.O., S. 66
- /5.157/ Schindel, V.,  
Risikoanalyse,  
München, 1977

- /5.158/ Däumler, K. D.,  
Sonderprobleme,  
a.a.O., S. 91
- /5.159/ Globus-Kartendienst,  
Nr. 8-1714 v. 19.8.85
- /5.160/ Schneider, E.,  
Wirtschaftlichkeitsrechnung,  
a.a.O., S. 67
- /5.161/ Arbeitsgemeinschaft Wärmepumpen,  
Zürich, 1984, S. 8
- /5.162/ Mahlert, K.,  
Marketing in der Energie- und Wasser-  
versorgung,  
München, 1967, S. 10
- /5.163/ K. F. Holm,  
Ergänzungen der amtlichen Energie-  
statistiken durch die Marktforschung,  
ESSO AG Hamburg, 1980
- /5.164/ Bindlingmaier, J.,  
Marketing 1,  
Hamburg, 1973, S. 14
- /5.165/ Mahlert, K.,  
a.a.O., S. 25
- /5.166/ Information Erdgas, Daten, Fakten,  
Fälle (74/2),  
Essen, 1974, S. 17
- /5.167/ Mahlert, K.,  
a.a.O., S. 25
- /5.168/ Information Erdgas, Daten, Fakten,  
Fälle (78/1),  
Essen, 1978, S. 11
- /5.169/ Information Erdgas,  
a.a.O., S. 19
- /5.170/ ESSO AG,  
So heizt der Deutsche,  
Hamburg, 1971
- /5.171/ ESSO AG,  
persönliche Information
- /5.172/ ESSO AG,  
Heizöl und alternative Energien,  
wie es weitergeht.  
Hamburg, 1982, S. 31
- /5.173/ Arbeitsgemeinschaft Fernwärme, Frankfurt,  
persönliche Information

- /5.174/ IFO-Institut e. V.,  
Quantitative Wirkungen der Energiesparpolitik  
in der Bundesrepublik Deutschland,  
Bd. 3/1, München, 1982, S. 22
- /5.175/ Institut für Angewandte Sozialpsychologie,  
Verbraucherberatung zur Energieeinsparung -  
eine Evaluierung der Beratung der Arbeits-  
gemeinschaft der Verbraucher (AGV),  
Düsseldorf, o. Datum, S. 30  
(vorläufige Fassung)
- /5.176/ Arbeitsgemeinschaft der Verbraucher e. V.,  
Die Heizung,  
Verbraucher Rundschau, Heft 4/1985, S. 9/17
- /5.177/ Däumler, K. D.,  
Sonderprobleme,  
a.a.O., S. 70/71

## 6. Heizkostenvergleiche und Verbraucherentscheidung

Zur Einschätzung der Verbraucherentscheidung im direktversorgten Absatzgebiet des Rheinisch-Westfälischen-Elektrizitätswerks (RWE) werden zunächst ausgewählte sozioökonomische Strukturen sowie die Entwicklung der Heizungsstruktur für Alt- und Neubauten in der Bundesrepublik Deutschland umrissen.

Die Untersuchung der Wahl von Heizsystemen im RWE-Versorgungsgebiet besteht aus drei Schritten:

1. Darstellung der Verbraucherentscheidung  
(Heizungsstrukturen)
2. Analyse der Heizkosten in typischen Versorgungssituationen
3. Gegenüberstellung der Verbraucherentscheidung  
und der monetären Ausgangsbedingungen für  
typische Versorgungssituationen

### 6.1 Sozioökonomische Randbedingungen im Versorgungsgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes

Die Wahl von Heizsystemen wird wesentlich von sozioökonomischen Faktoren wie

- Alter des Haushaltsvorstandes,
- Beruf und
- Einkommen

beeinflusst. In den Bildern 6.1 - 6.3 sind Häufigkeiten und Aufschlüsselungen dieser Bestimmungsfaktoren wiedergegeben. Da eine spezielle Auswertung nach Neubauten nicht möglich ist,



beziehen sich die Ergebnisse auf Haushalte im gesamten Wohnungsbestand.

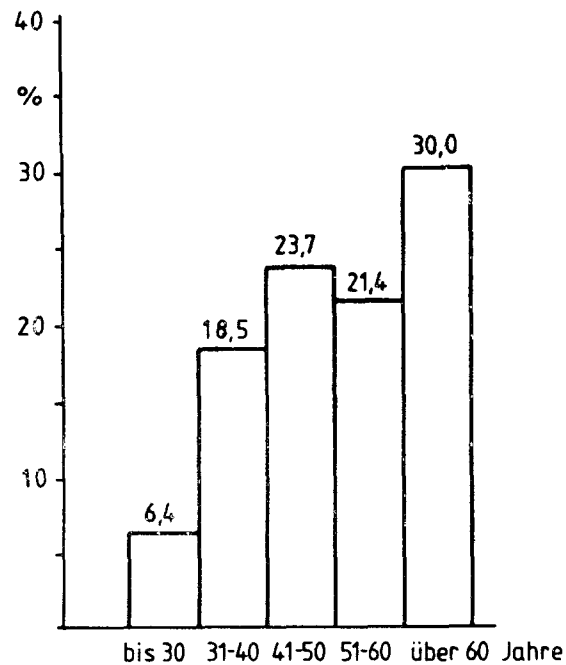


Bild 6.1: Alterklassen der Haushaltsvorstände im Versorgungsgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (Stand 1981) /6.1/

Bild 6.1 ist zu entnehmen, daß Haushaltsvorstände über 60 Jahre die größte Gruppe bilden. Zwischen 31 und 60 Jahre gibt es drei fast gleichgroße Blöcke. Das mittlere Alter des Haushaltsvorstandes im RWE-Versorgungsgebiet beträgt etwa 50 Jahre /6.1/.

Entsprechend dem hohen Anteil der über 60jährigen Haushaltsvorstände ist der Anteil der Rentner im Hinblick auf die Art der Erwerbstätigkeit (s. Bild 6.2). Jeweils zwei fast gleichgroße Blöcke bilden Arbeiter und Angestellte und auf niedrigerem Anteilsniveau Beamte und Selbständige.

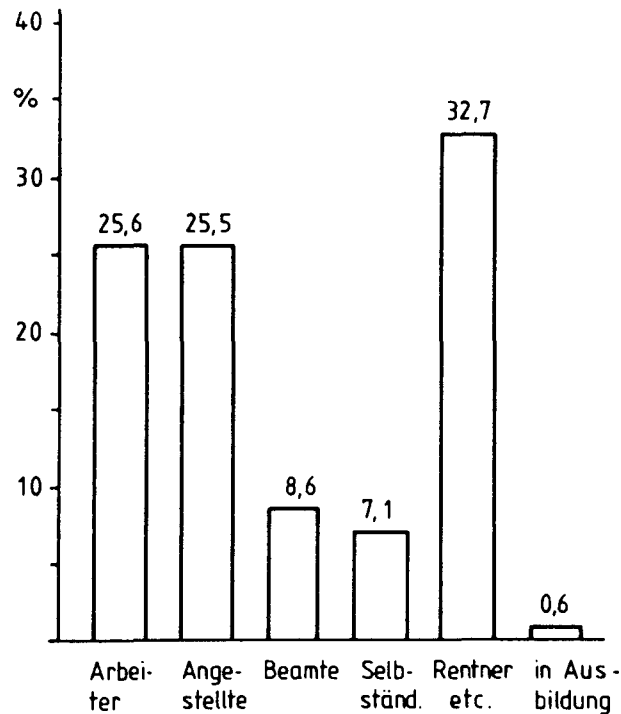


Bild 6.2: Art der Erwerbstätigkeit der Haushaltsvorstände im Versorgungsgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (Stand 1981) /6.1/

Betrachtet man die Nettoeinkommen aller Haushalte, so stellt man fest, daß etwa 11 % über Spitzeneinkommen verfügen, während eine noch größere Zahl (13 %) unter 1 200 DM an Nettoeinkünften bezieht. Dazwischen liegen jeweils zwei fast gleichgroße Blöcke im Bereich zwischen 1 200 bis 2 500 DM und zwischen 2 500 bis 4 000 DM. Das mittlere Nettoeinkommen beträgt etwa 2 500 DM.

Das mittlere Einkommen nach Berufsgruppen ist in Tab. 6.1 wiedergegeben. Gegenüber dem Durchschnittseinkommen aller Berufsgruppen haben vor allem Selbständige, Beamte und Angestellte signifikant höhere Nettoeinkommen. Das höhere Einkommensniveau dieser Gruppen spiegelt sich deutlich wieder bei der Zuordnung

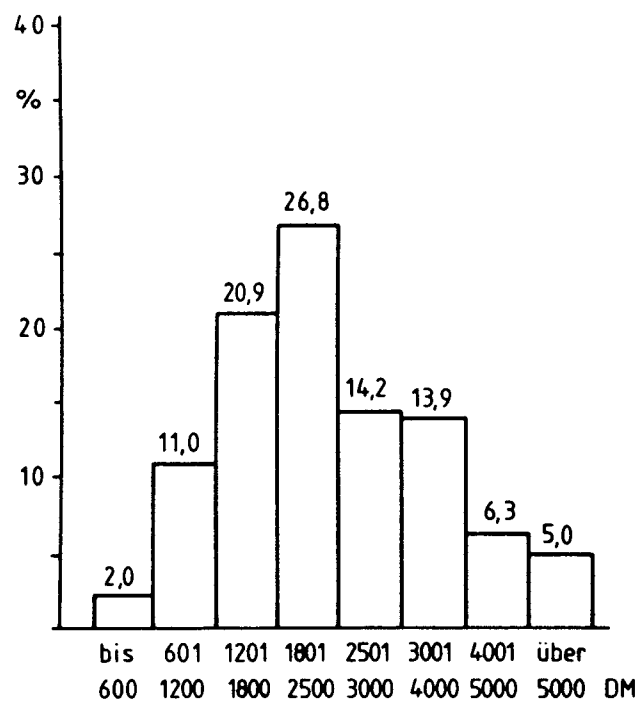


Bild 6.3: Nettoeinkommen der Haushalte im Versorgungsgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (Stand 1981) /6.1/

Soziale Gruppe/ Berufsgruppe	Ø Einkommen netto/Monat in DM	Abweichung vom Ø in %
Arbeiter, Facharbeiter	2.138	- 13
Angestellte	3.052	+ 24
Beamte	3.210	+ 31
Selbständige, Freiberufler	3.928	+ 60
Rentner, Pensionäre etc.	1.751	- 29
zur Zeit in Ausbildung	1.491	- 39
Ø	2.456	x

Tabelle 6.1: Mittleres Haushaltseinkommen nach Berufsgruppen im Versorgungsgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (Stand 1981) /6.1/

Soziale Gruppe/ Berufsgruppe	Haus- bzw. Wohnungs- eigentum %-Anteil	Abweichung vom Ø %-Punkte
Arbeiter, Facharbeiter	48,8	- 3,3
Angestellte	55,1	+ 3,0
Beamte	62,0	+ 9,9
Selbständige, Freiberufler	73,6	+ 21,5
Rentner, Pensionäre etc.	46,5	- 5,6
zur Zeit in Ausbildung	23,5	- 28,6
Ø	52,2	x

Tabelle 6.2: Haus- und Wohnungseigentum nach Berufsgruppen im Versorgungsgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (Stand 1981) /6.1/

von Wohn- und Hauseigentum zu den Berufsgruppen (s. Tab. 6.2). Vor allem Selbständige, aber auch Beamte liegen über der durchschnittlichen Eigentumsquote von 52 % für alle Berufsgruppen.

Diese Daten kennzeichnen aus sozioökonomischer Sicht Randbedingungen des untersuchten Versorgungsgebietes. Eine direkte Übertragung auf den Kaufentscheid ist nicht möglich. Es läßt sich lediglich feststellen, daß von der finanziellen Flexibilität am ehesten Selbständige für den Kauf kapitalintensiver Heizsysteme in Frage kommen /6.2/.

## 6.2 Die Wahl von Heizsystemen

### 6.2.1 Entwicklung der Heizungsstruktur in der Bundesrepublik Deutschland

Bild 6.4 zeigt die Entwicklung der Heizungsstruktur in der Bundesrepublik Deutschland nach beheizten Wohnungen und Energieträgern für den Zeitraum 1950 bis 1984. Betrachtet wird der gesamte Wohnungsbestand (Alt- und Neubauten). Für das Jahr 1984 gibt Bild 6.4 auch die übliche Prozent-Struktur wieder, daneben

werden für die Errechnung eines bestimmten Marktpotentials Marktentwicklungszeiten angegeben /6.3 - 6.9/.

Diese Ergebnisse sind Dokument der Wahl der Verbraucher für Heizsysteme, sie zeigen zugleich den Wandel auf und geben einen Überblick über Stärken und Schwächen einzelner Energiewirtschaftszweige auf den Heizungsmarkt.

Die Verhaltensweisen der Unternehmen und Verbraucher hängen stark von den Lebenszyklen eines Produktes ab. Zu unterscheiden sind /6.10 - 6.12, 6.19/:

- a) Markteindringungs- oder Experimentierungsphase,
- b) Expansionsphase,
- c) Ausreifungsphase,
- d) Stagnations- und Rückbildungsphase.

a) Experimentierungsphase

Initiative Unternehmen bieten neue Produkte am Markt an, die durch Pionierkäufer häufig auch schon dann erworben werden, wenn sie noch nicht wirtschaftlich sind.

b) Expansionsphase

Spontan imitierende Unternehmer bewirken durch ihre Produkte eine Markterweiterung, die von schnellen Nachahmern (trendbewußte Meinungseliten) auf der Nachfragerseite gestützt wird, der die flexible obere Mittelschicht folgt.

c) Ausreifungsphase

Aus dem ehemaligen Pionierunternehmer ist ein konservativer Unternehmer geworden, der nur noch unter Druck reagiert. Auf der Verbraucherseite trägt die breite Masse zum Absatz bei.

d) Stagnation- und Rückbildungsphase

Dem Unternehmen gehen Marktanteile verloren, es ist immobil geworden. Auf den Markt kommen noch Nachzügler, doch initiative Unternehmen und Pionierkäufer haben bereits neue Produktzyklen eröffnet.

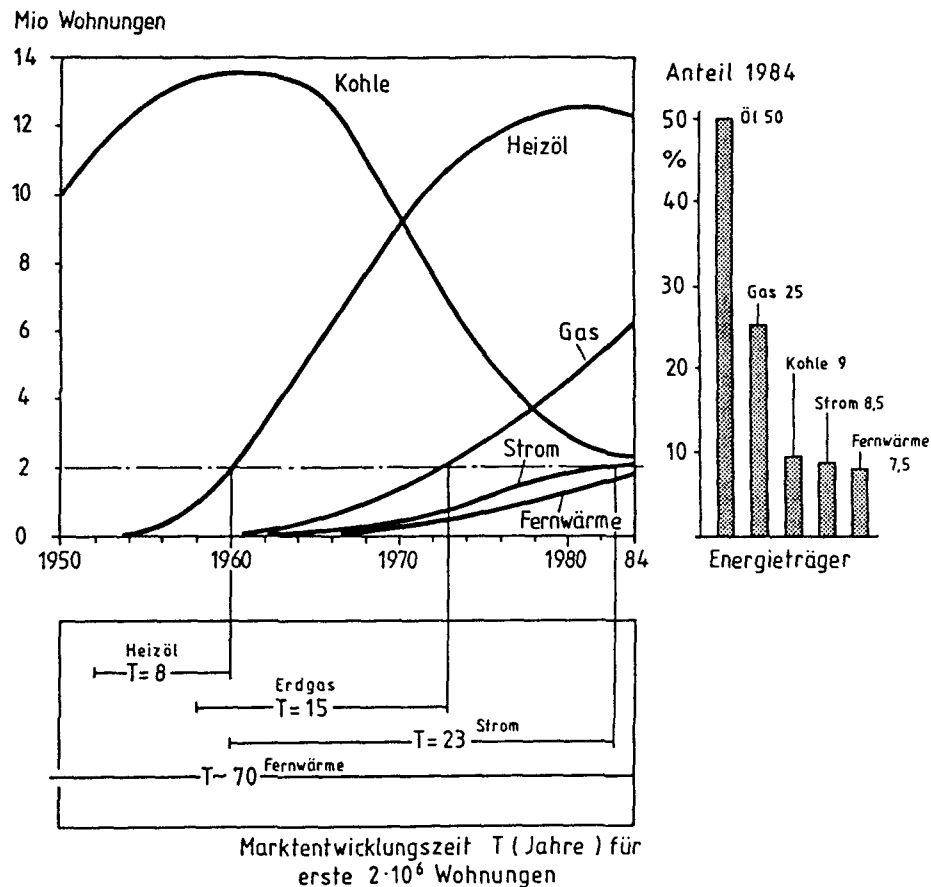


Bild 6.4: Entwicklung der Heizungsstruktur (Alt- und Neubauten) in der Bundesrepublik Deutschland sowie Marktentwicklungszeiten für erste 2 Millionen Wohnungen

Etwa 1955, als die Kohle sich auf dem Heizungsmarkt in der Ausreifungsphase befand, hatten anbietende und nachfragende Pioniere die Markteinführung des Heizöls initiiert (s. Bild 6.4). Vom Endenergieträger als produktfremde Nachahmer und vom Nutzenergieträger als produktgleiche Nachahmer traten etwa 1960 Gas und Strom auf den Markt, während ab diesem Zeitpunkt die Kohle-

wirtschaft infolge Immobilität starke Verluste hinnehmen mußte. Die Gasentwicklung profitierte von der reibungslosen Umstellung von Stadtgas auf Erdgas /6.14 - 6.15/, während die Stromwirtschaft das Pionierprodukt Nachtspeicherheizung auf den Markt brachte, das im Rahmen bestehender Netze abgesetzt werden konnte und vorrangig Kohleeinzelöfen substituierte /6.13/.

1984 befindet sich Heizöl in der Rückbildungsphase. Auf dem flachen Lande gibt es noch Nachzügler, doch die Umstellungsverluste an Erdgas sind größer. Aus dem einstigen Pionierunternehmen "Heizöl" ist aufgrund der energiewirtschaftlichen Bedingungen ein unter Druck geratenes konservatives Unternehmen geworden. Gewinner dieser Entwicklung war das Erdgas, das sich im starken Wachstum befindet. Das Wachstum wird von einer breiten Marketingstrategie über Ferngasgesellschaften bis hin zu den Ortsgasversorgern, Kesselherstellern und dem Installationshandwerk getragen. Besonders die kommunalen Versorger haben dazu beigetragen, indem sie sich innerhalb ihrer Alternativen (Strom, Fernwärme, Erdgas) eindeutig für Erdgas entschieden /6.20 - 6.27/. Durch Beteiligungen trugen auch die Mineralölwirtschaft bzw. die Stromwirtschaft zu dieser Entwicklung bei. Die Entwicklung des einstigen Pionierproduktes Strom scheint zu stagnieren, neuer Auftrieb durch Wärmepumpen zeichnet sich noch nicht ab. Der weitere Rückgang der Kohle ist offenbar auf relativ niedrigem Niveau etwas verlangsamt, während Fernwärme sich auch infolge weitreichender Subvention in der Fortentwicklung befindet /6.16/.

Bild 6.4 gibt außerdem eine Übersicht über die Marktentwicklungszeit zur Mobilisierung der ersten 2 Millionen Käufer eines Heizsystems. Bei diesem Vergleich scheidet Kohle aus, da sie sich im Betrachtungszeitraum nicht nach diesem Kriterium bewerten läßt. Aufschlußreich ist der Vergleich nichtleitungsgebundener Energieträger (Heizöl) mit leitungsgebundenen (Erdgas, Strom, Fernwärme). Während Heizöl dieses Marktpotential in etwa 8 Jahren erreichte, betrug die Mobilisierung der Käufer bei

- |                           |                             |
|---------------------------|-----------------------------|
| - Erdgas etwa 15 Jahre    | (Faktor 2 gegenüber Heizöl) |
| - Strom etwa 23 Jahre     | (Faktor 3 " " )             |
| - Fernwärme etwa 70 Jahre | (Faktor 9 " " )             |

## 6.2.2 Verbraucherentscheidung im Versorgungsgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes

### 6.2.2.1 Grundlagen der Erhebung

Die Stammdaten zur Verbraucherentscheidung im direktversorgten Absatzgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes entstammen der Abteilung Marktforschung und Statistik dieses Unternehmens. Bei der Erhebung handelt es sich um eine Totalerhebung aller Neubauten des Versorgungsgebietes. Innerhalb der Statistik wird jedoch nicht nach den Merkmalen Ein- bzw. Mehrfamilienhaus unterschieden.

Zeitpunkt der Datenaufnahme ist die Abnahme des hausinternen elektrischen Netzes, bei der die Antragssteller nach der gewählten Beheizungsart und den am Ort möglichen Alternativen befragt werden. Die Analyse und Verarbeitung der Stammdaten erfolgt besonders unter dem Gesichtspunkt, typische Versorgungssituationen abzuleiten, die gegenüber amtlichen Statistiken eine erhöhte Aussagefähigkeit im Hinblick auf die Verbraucherentscheidung ermöglichen.

### 6.2.2.2 Ergebnisse

#### 6.2.2.2.1 Das gesamte direktversorgte Absatzgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes

Die Verbraucherentscheidung im Neubaubereich (s. Bild 6.5) unterscheidet sich durch zwei Aspekte von der Darstellung in Bild 6.4.

- a) Kohle hat im Neubaubereich nur noch eine unbedeutende Position,
- b) bei der jahrgangsweisen Betrachtung hat Erdgas dem bisherigen Marktführer Heizöl ab 1980 den ersten Rang abgenommen.



Für Fernwärme gilt etwa die Einschätzung wie im Gesamtbestand der Bundesrepublik Deutschland. Dagegen gibt es für die Entwicklung des Stromes zunächst keinen plausiblen Grund. Obwohl die Wettbewerbsbedingungen sich infolge der Ölpreiskrise verbessert haben, nimmt der prozentuale Anteil an den beheizten Wohnungen im Neubau ab. Ein entscheidender Grund dieser Entwicklung ist die 1972 aufgetretene Höchstlast zur nächtlichen Schwachlastzeit in Teilgebieten des RWE-Versorgungsbereiches. Daraufhin stoppte das Unternehmen die Werbung für das Produkt Nachtspeicherheizung und nahm über die flexible Handhabung der örtlichen Festsetzung von Anschlußkosten auch Einfluß auf die Attraktivität dieses Heizsystems /6.17/.

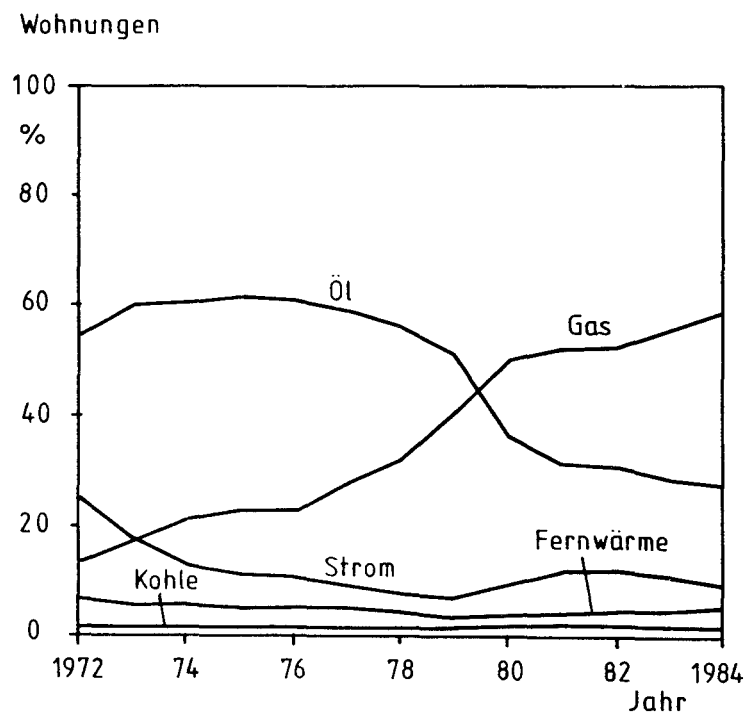


Bild 6.5: Entwicklung der Beheizungsstruktur in Neubauten (Ein- und Mehrfamilienhäuser) im direktversorgten Absatzgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes

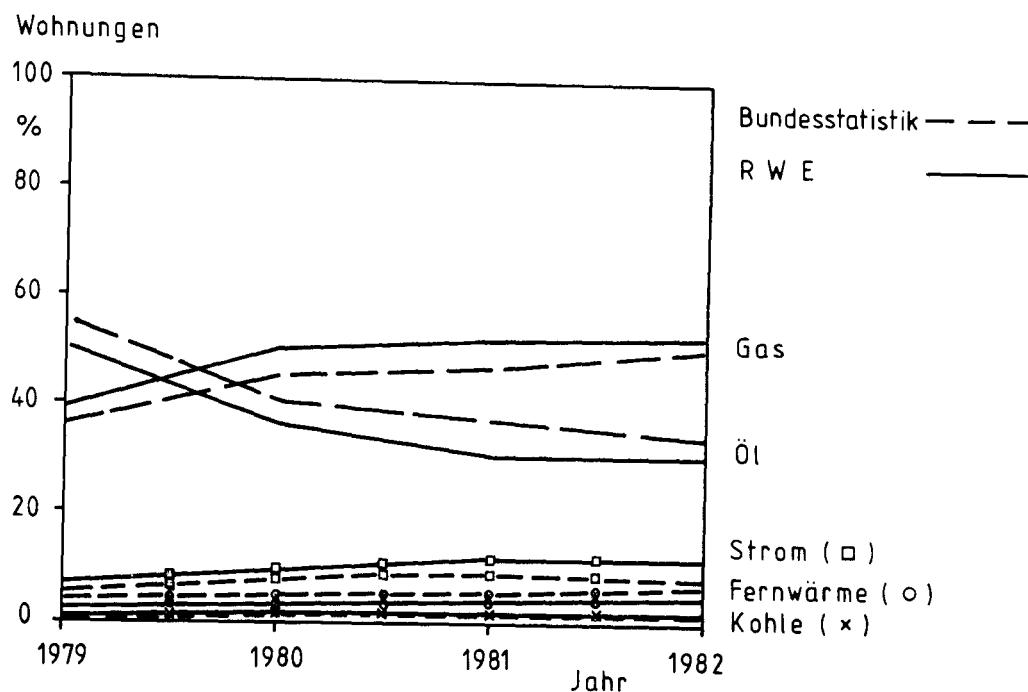


Bild 6.6: Vergleich der Neubaustatistik des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes mit der neuen Neubau-Bundesstatistik für ausgewählte Jahre /6.18/

Bild 6.6 zeigt für einige ausgewählte Jahre den Vergleich des RWE-Versorgungsgebietes mit der 1979 eingeführten neuen Neubaustatistik des Statistischen Bundesamtes in Wiesbaden. Aufgrund dieser Jahrgänge läßt sich eine fast identische Entwicklung in beiden Versorgungsgebieten feststellen. Im RWE-Versorgungsgebiet liegt in Neubauten der Anteil an Gas und Strom etwas höher als im Bundesgebiet, während der Anteil an Öl und Fernwärme etwas geringer als im Bundesgebiet ist. Dieser Vergleich zeigt aber, daß die Daten aus dem RWE-Versorgungsgebiet in guter Näherung auch auf das Bundesgebiet übertragen werden können.

Die auf Energieträger bezogene Interpretation der Heizungsstruktur ist bis auf Strom immer zugleich eine Darstellung für Zentralheizungssysteme. Dem Energieträger Strom liegen in erster Linie Nachtstromspeichereinzelföfen zugrunde, ab 1976 werden darunter auch Wärmepumpen subsumiert.

#### 6.2.2.2.2 Spezifische Entwicklungen einzelner Energieträger

Die Analyse der einzelnen Energieträger erfolgt nach zwei Kriterien:

- a) nach den Wahlmöglichkeiten des Verbrauchers in typischen Versorgungsfällen,
- b) nach der dominierenden Position eines Energieträgers im Wettbewerb mit den Substitutionsenergien.

Für das Kriterium der Wahlmöglichkeit wird jeweils nach den Anschlußmöglichkeiten für Erdgas bzw. Fernwärme abgefragt. Dabei sind folgende Möglichkeiten zu unterscheiden:

- 1) Sowohl an Gas als auch an Fernwärme ist ein Anschluß möglich,
- 2) nur Anschluß an Fernwärme möglich,
- 3) nur Anschluß an Gas möglich,
- 4) sowohl an Gas als auch an Fernwärme kein Anschluß möglich.

In allen vier Fällen treten jeweils Heizöl, Kohle und Flüssiggas als ergänzende Substitutionsenergien auf. Eine spezielle Betrachtung der Kohle und des Flüssiggases erfolgt nicht, da in allen Fällen nur geringe Anteile (kleiner als 5 %) vorliegen.

##### 6.2.2.2.2.1 Heizöl

In Bild 6.7 sind die Anteile für Heizöl für das gesamte direktversorgte RWE-Absatzgebiet sowie für die genannten typischen Versorgungssituationen dargestellt.

Die Kurve des gesamten Versorgungsgebietes gibt die durchschnittliche Absatzsituation für Heizölsysteme wieder. Die Einbeziehung der typischen Versorgungssituationen zeigt aber den signifikanten Unterschied der einzelnen Entwicklungen. Während

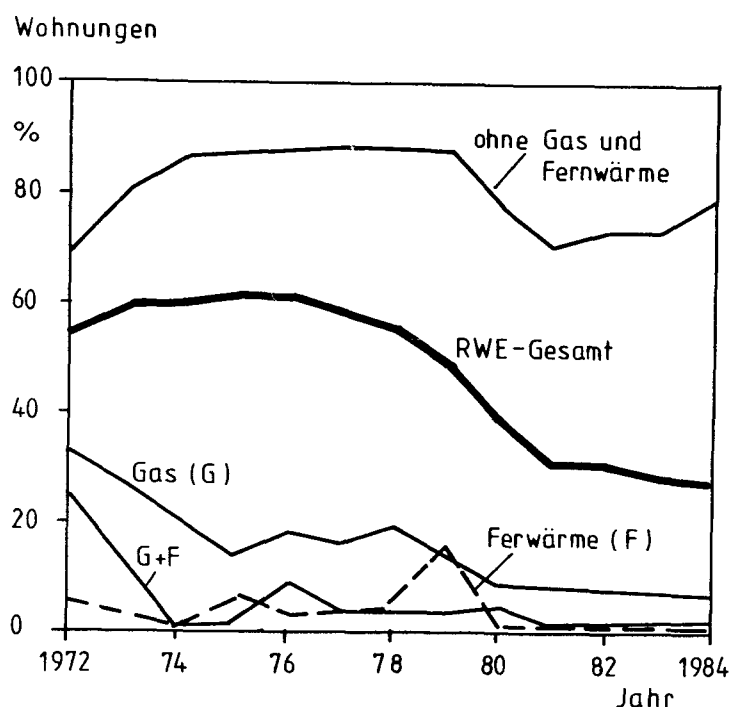


Bild 6.7: Anteil des Heizöls in Neubauten des direktversorgten Absatzgebietes des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerks (RWE) sowie in typischen Versorgungssituationen

- a) nur Gas, keine Fernwärme (G)
- b) nur Fernwärme, kein Gas (F)
- c) Gas und Fernwärme (G + F)
- d) ohne Gas und Fernwärme

dort, wo Gas bzw. Fernwärme und Fernwärme und Gas zusammen gewählt werden können, Ölheizungen im Laufe des Betrachtungszeitraumes erheblich an Bedeutung verloren, hat dort, wo weder Gas noch Fernwärme angeboten werden, Heizöl seine Domäne behalten (s. Bild 6.8). In diesem Versorgungsgebiet stagniert die Kohleheizung auf niedrigem Niveau, während die Flüssiggasheizung nach ihrem statistischen Markteintritt 1977 noch keine bedeutenden Anteile gewinnen konnte. Lediglich Stromheizungen treten als echter Wettbewerber für Ölheizungen auf. Ihre Marktentwicklung ist der im gesamten Versorgungsgebiet ähnlich (vgl. Bild 6.5), jedoch ist die Erholungsphase nach dem zweiten Ölpreisschock ausgeprägter. Diese Entwicklung wird wesentlich

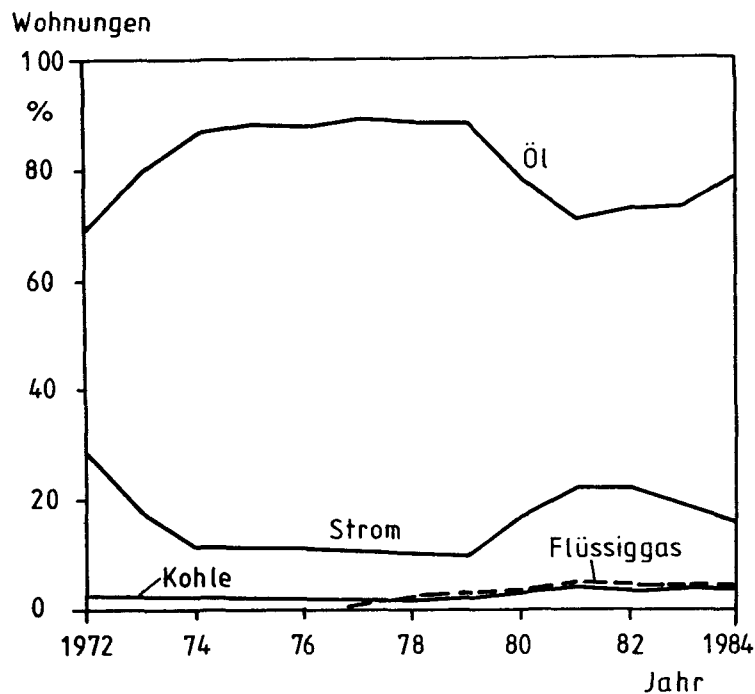


Bild 6.8: Entwicklung der Beheizungsstruktur (Neubauten) in Gebieten mit dominierender Heizölversorgung

von Wärmepumpensystemen mitgetragen, die in ländlichen Regionen merklich stärker zur Entwicklung beitragen als im Durchschnitt des gesamten Versorgungsgebietes /6.28/.

#### 6.2.2.2.2 Erdgas

In Bild 6.9 ist die Entwicklung der Erdgasanteile sowohl im RWE-Versorgungsgebiet als auch in zwei typischen Versorgungssituationen dargestellt. Diese beiden Versorgungsfälle unterscheiden sich dadurch, daß zum einen sowohl Erdgas als auch Fernwärme gewählt werden können, während zum anderen von beiden nur Erdgas zur Verfügung steht. Als weitere Substitutionsenergien treten in allen Fällen wiederum Heizöl und Strom auf. Flüssiggas ist wegen der geringen Fallzahlen in Erdgas einbezogen. Das Wachstum des Erdgases ist sowohl im Direktversor-

gungsgebiet als auch in Versorgungssituationen ohne Fernwärme kontinuierlich und auf hohem Niveau. Dagegen ist die Entwicklung in Versorgungsfällen, wo gleichzeitig Fernwärme gewählt werden kann, unstetig und auf relativ niedrigem Niveau. Während im gesamten RWE-Versorgungsgebiet noch weiteres Wachstum möglich ist, scheint die Erdgasversorgung dort, wo sie ohne Fernwärmekonkurrenz ist, die Sättigung erreicht zu haben.

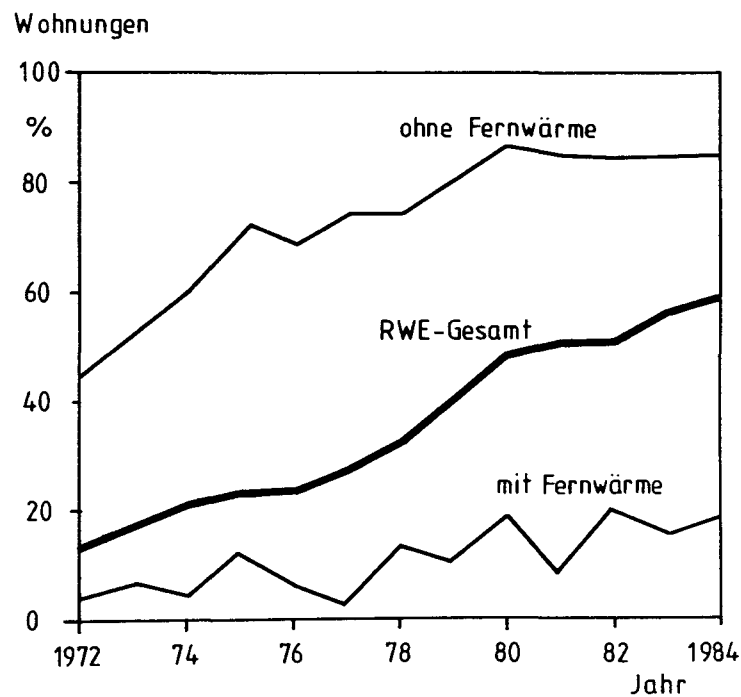


Bild 6.9: Anteil des Erdgases in Neubauten des direktversorgten Absatzgebietes des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (RWE) sowie in typischen Versorgungssituationen

- a) Anschlußmöglichkeit an Gas und Fernwärme
- b) keine Anschlußmöglichkeit an Fernwärme

Die Konkurrenzsituation bzw. die Verbraucherentscheidung für Heizsysteme in Versorgungsgebieten mit dominierender Erdgasversorgung ist Bild 6.10 zu entnehmen.

Schon vor der ersten Ölpreiskrise war es der Gaswirtschaft im Rahmen ihres Marketingkonzeptes gelungen, in diesen Versorgungsgebieten die führende Position im Meinungsbild der Verbraucher zu erreichen.

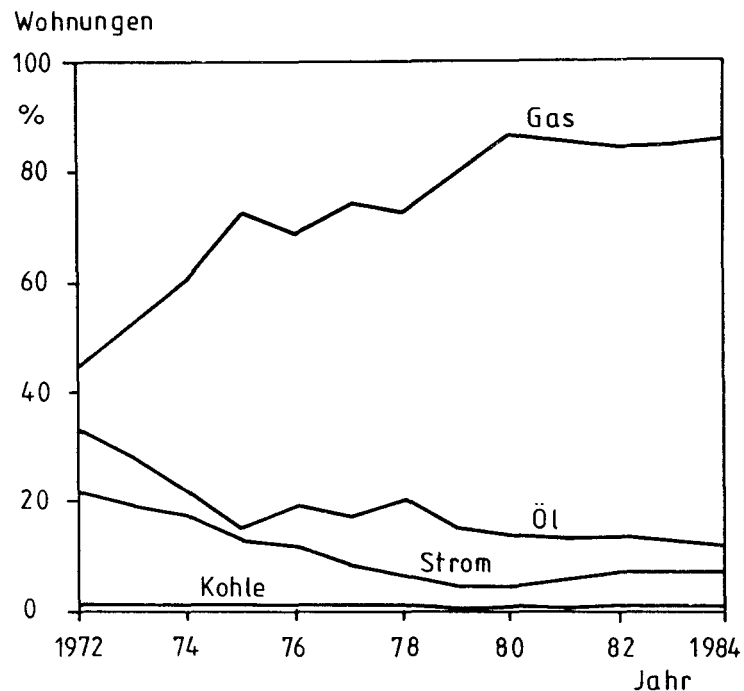


Bild 6.10: Entwicklung der Beheizungsstruktur (Neubauten) in Gebieten mit dominierender Erdgasversorgung

Infolge der Ölpreiskrisen nahm Heizöl in der Verbrauchereinschätzung zunehmend ab, dies gilt ebenso für Stromheizungen, während Kohle sich im Bereich der unbedeutenden Restgröße befindet.

Da das Marketing der Stromwirtschaft bzw. der Wärmepumpenindustrie sich ganz auf die Substitution von Heizöl konzentrierte, gelang es hier kaum, Wärmepumpenpioniere zu motivieren.

### 6.2.2.2.2.3 Fernwärme

Die besondere Situation und Einordnung der Fernwärme wird aus Bild 6.11 deutlich. Im gesamten direktversorgten Absatzgebiet stagniert die Fernwärme auf niedrigem Niveau. Sie ist dagegen in Versorgungsfällen, wo neben den anderen Substitutionsenergien zusätzlich entweder Gas oder Fernwärme oder nur Fernwärme gewählt werden können, von dominierender Bedeutung. Dort wo

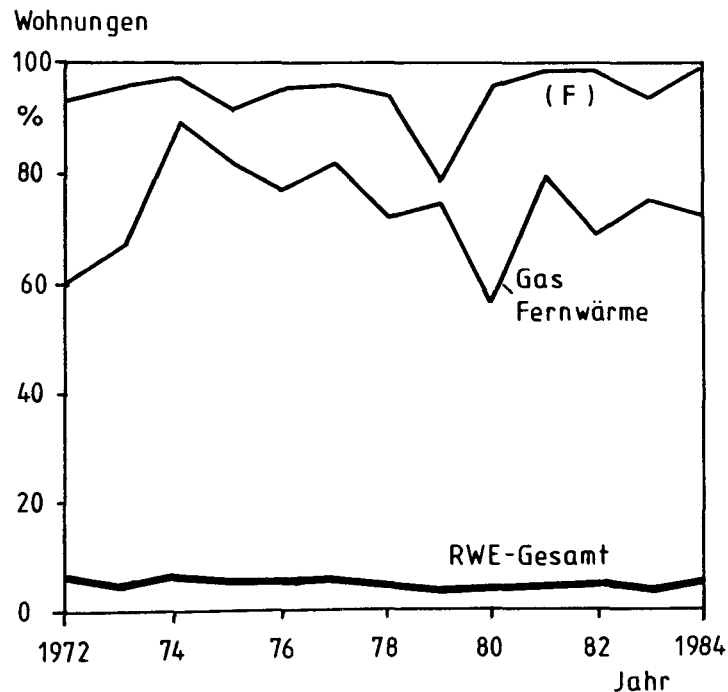


Bild 6.11: Anteil der Fernwärme in Neubauten des direktversorgten Absatzgebietes des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (RWE) sowie in typischen Versorgungssituationen  
a) Anschlußmöglichkeit mit Gas und Fernwärme  
b) keine Anschlußmöglichkeit an Gas (F)

Fernwärme ohne Gasanschlußmöglichkeit angeboten wird, hat sie sich fast ausschließlich durchgesetzt. Dies sind neuerschlossene Versorgungsgebiete bzw. Zubauten in reinen Fernwärmeversorgungsgebieten. In diesen Versorgungsfällen haben die kommunalen Energieversorger, die für diese Entwicklung in erster Linie verantwortlich sind, sich gegen eine mehrschienige Energieversorgung zugunsten der Fernwärme entschieden. Teilweise wurde in Nordrhein-Westfalen dabei auch vom inzwischen gesetzlich mög-



lichen Anschlußzwang Gebrauch gemacht /6.29 - 6.31/. Bild 6.12 zeigt die Entwicklung der Beheizungsstruktur in Gebieten ohne

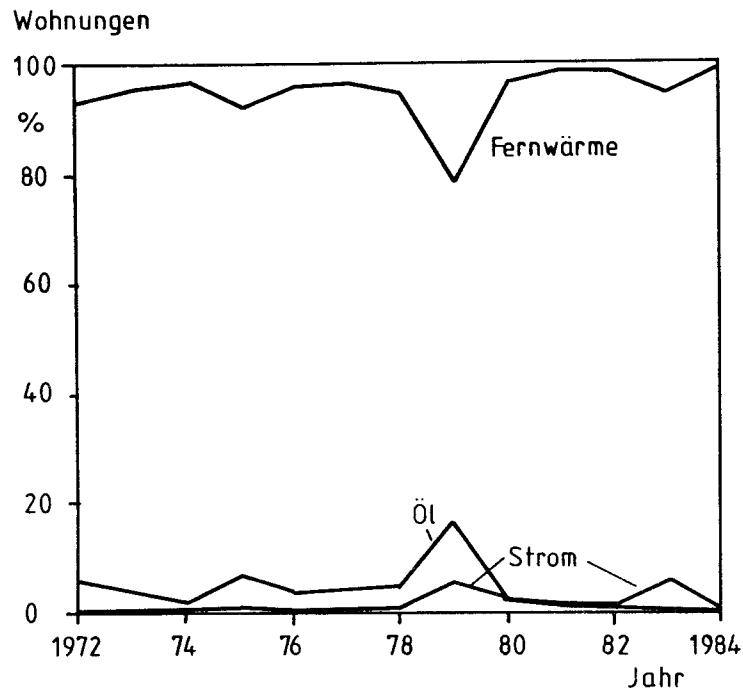


Bild 6.12: Entwicklung der Beheizungsstruktur (Neubauten) in Versorgungsgebieten mit dominierender Fernwärmeverversorgung (ohne gleichzeitige Gasversorgung)

zusätzlichen Gasanschluß. Im genannten Betrachtungszeitraum waren Öl und Strom ohne Bedeutung. Für den Einbruch im Jahre 1979, also zur zweiten Ölpreiskrise, lassen sich keine Begründungen finden.

Eine etwas schwächere Position hat Fernwärme dort, wo zugleich ein Gasanschluß möglich ist (Bild 6.13). Während Öl zunehmend an Bedeutung verloren hat, ist Erdgas im gleichen Maße gewachsen. In diesen Gebieten hat Strom eine weitgehend positive Entwicklung genommen, allerdings ist das erreichte Niveau noch nicht bedeutend.

Im Rahmen der Belastungscharakteristik trugen in erster Linie Nachtspeicherheizungen zur positiven Entwicklung bei, sie ist nicht auf den Einsatz von Wärmepumpen zurückzuführen /6.32/. Die Darstellung in Bild 6.13 zeigt zugleich, daß Fernwärme sich nur in diesem Gebiet im eigentlichen Wettbewerb befindet. Weiterhin fällt bei der Betrachtung der unstetige Verlauf der Kurven auf.

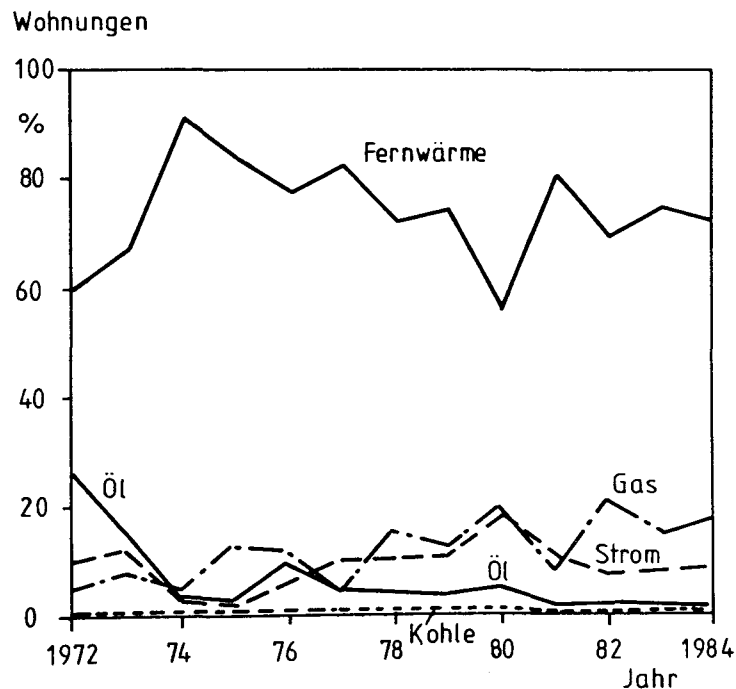


Bild 6.13: Entwicklung der Beheizungsstruktur (Neubauten) in Versorgungsgebieten mit Gas- und Fernwärmeversorgung

#### 6.2.2.2.2.4 Strom

Während Heizöl, Erdgas und Fernwärme jeweils Marktführer auf Teilmärkten sind, gilt dies für Stromheizungen nicht (s. Bild 6.14). Sowohl im gesamten direktversorgten RWE-Absatzgebiet als auch in den hier betrachteten typischen Versorgungsgebieten übernimmt Strom die Rolle eines ergänzenden Energieträgers mit recht unterschiedlicher Bedeutung in den einzelnen Versorgungs-

fällen. Im Betrachtungszeitraum 1972 - 1984 ist in Neubauten eher eine abnehmende Tendenz als eine Fortentwicklung zu erkennen.

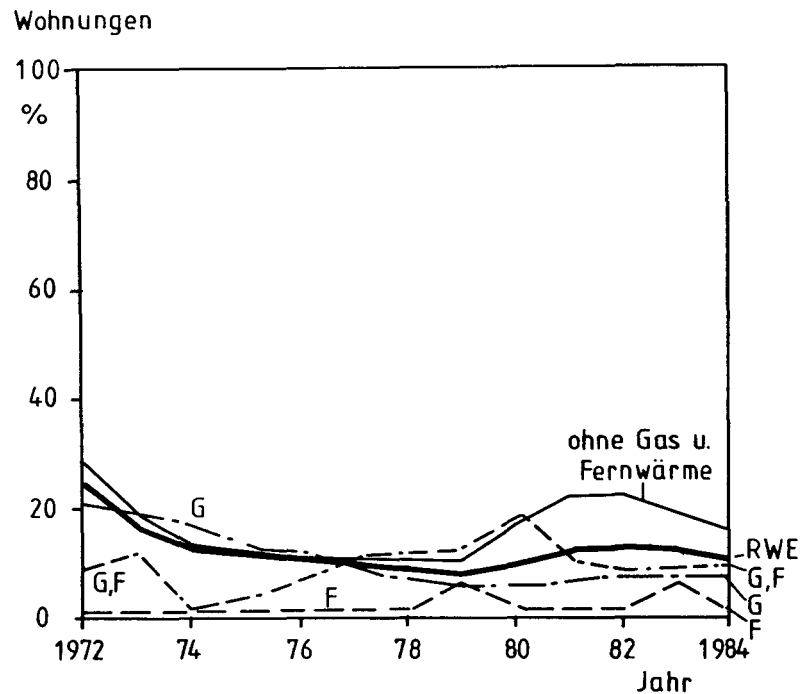


Bild 6.14: Anteil des Stroms in Neubauten des direktversorgten Absatzgebietes des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (RWE) sowie in typischen Versorgungssituationen  
a) nur Gas, keine Fernwärme (G)  
b) nur Fernwärme, kein Gas (F)  
c) Gas und Fernwärme (G, F)  
d) ohne Gas und Fernwärme

#### 6.2.2.3 Auswahl typischer Versorgungssituationen

Für die Analyse der Verbraucherentscheidung werden nach den Darstellungen in Kap. 6.2.2.2 folgende typische Versorgungssituationen ausgewählt:

1. Versorgungsgebiete mit dominierender Erdgasversorgung

2. Versorgungsgebiete mit dominierender  
Heizölversorgung

3. Versorgungsgebiete mit dominierender  
Fernwärmeversorgung

Die Wirtschaftlichkeitsvergleiche sind so aufgebaut, daß jeweils ein Substitutionsenergieträger gegen den jeweiligen Marktführer getestet wird. Dies hat den Vorteil einer übersichtlichen Darstellung, bzw. entspricht auch in etwa den Substitutionsbeziehungen auf den untersuchten Teilmärkten (vgl. Bilder 6.8, 6.10 und 6.13).

Bei der Übertragung der Wirtschaftlichkeitsvergleiche ist die mangelnde Differenzierung der RWE-Neubau-Statistik nach Ein- und Zweifamilienhäusern zu beachten.

Zur Überprüfung der Anwendbarkeit dieser Daten wurde deshalb die Verteilung von Ein- u. Mehrfamilienhäusern in unterschiedlichen Gemeindegrößenklassen untersucht /6.33 - 6.34/.

In ländlichen Regionen (< 20 000 Einwohner) liegen vorwiegend Ein- u. Zweifamilienhäuser (s. Bild 6.15). Die Erhebung in Gebieten mit dominierender Ölversorgung entspricht diesem Versorgungsgebiet, das somit für die Untersuchungen repräsentativ ist (vgl. Bild 6.8).

Der Bereich dominierender Erdgasversorgung befindet sich dort, wo eine Fernwärmeanschlußmöglichkeit nicht vorhanden ist. Dies sind Stadtrandgebiete großer Städte (> 100 000), Gemeinden mit Einwohnerzahlen größer 20 000, die schon 1973 zum großen Teil an das Erdgasnetz angeschlossen waren. Selbst in Gemeinden mit 5 - 20 000 Einwohnern hat inzwischen jede zweite eine Erdgasversorgung /6.35/. Auch diese Gebiete werden noch wesentlich durch Ein- und Zweifamilienhäuser geprägt, tendenziell ist der

Anteil der Gasversorgung in Mehrfamilienhäusern höher als bei Ein- und Zweifamilienhäusern, während die Ölversorgung in Ein- und Zweifamilienhäusern etwas höher als in Mehrfamilienhäusern ist /6.18/.

Größere Unterschiede sind dagegen bei der Übertragbarkeit der Daten aus Versorgungsgebieten mit dominierender Fernwärmeversorgung gegeben. Die Fernwärmeversorgung konzentriert sich auf Gemeinden mit Einwohnerzahlen von mehr als 100 000. Nur etwa in jeder 20. Gemeinde mit geringeren Einwohnerzahlen gibt es eine Fernwärmeversorgung /6.35/.

In den großen Städten konzentriert sich die Fernwärme auf die Zonen hoher Wärmeanschlußdichten. Hier befinden sich aber überwiegend Mehrfamilienhäuser und Kleinverbraucher, während Einfamilienhäuser eher die Ausnahme sind. Da andererseits nicht bekannt ist, wie Ein- und Zweifamilienhausbesitzer sich in derartigen Versorgungsgebieten entschieden haben, wird in erster Näherung die Entscheidung der Mehrfamilienhausbesitzer geprüft.

Für die Übertragbarkeit der Daten ist also weniger die prinzipielle Unterscheidung nach Ein- und Mehrfamilienhäusern von Bedeutung, als vielmehr die Größe der Städte bzw. das Vorhandensein der leitungsgebundenen Energieträger Erdgas und Fernwärme.

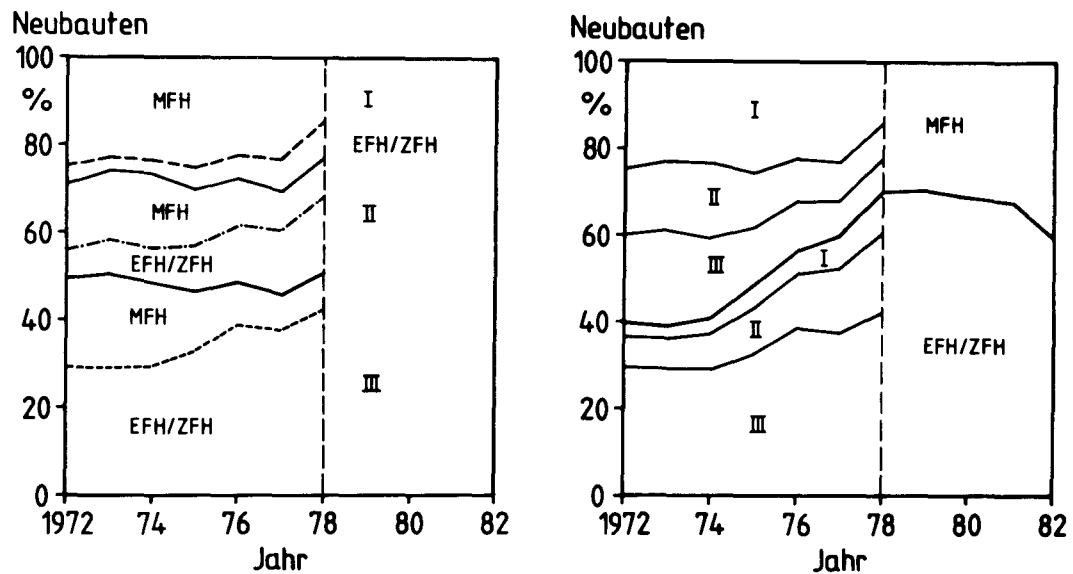


Bild 6.15: Entwicklung der Gebäudestruktur (Neubauten)  
in der Bundesrepublik Deutschland /6.33-6.34/  
Hauptmerkmal Versorgungsgebiet (linke Grafik)

- I) Gemeinden gr. 100 000 Einwohner
- II) Gemeinden gr. 20 000 und kl. 10 000 Einwohner
- III) Gemeinden kl. 20 000 Einwohner

Hauptmerkmal Haustyp (rechte Grafik)

- EFH/ZFH - Ein- u. Zweifamilienhäuser
- MFH - Mehrfamilienhäuser

### 6.2.3 Überprüfung der Verbraucherentscheidung

Die Vorgehensweise bei der Überprüfung der Verbraucherentscheidung entspricht der üblichen wissenschaftlichen Vorgehensweise, die idealisierend folgendermaßen abläuft /6.36/:

1. Beobachtung
2. Hypothese
3. Schlußfolgerungen
4. Bestätigung

Bei der Beobachtung werden wichtige Tatsachen über das formulierte Problem gesammelt und in geeigneter Weise dargestellt. Aus den Tatsachen werden Hypothesen oder Theorien formuliert, die vermutete Zusammenhänge bestätigen sollen. Aus den Hypothesen oder Theorien werden Schlußfolgerungen gezogen, die hinsichtlich ihrer Allgemeingültigkeit in umfassenderer Form überprüft werden müssen und zu naturgesetzlichen Erkenntnissen führen können.

Der wesentliche Unterschied zum naturwissenschaftlichen Problemfeld ist in der vorliegenden Arbeit durch den verhaltensorientierten Entscheidungsprozeß gegeben, der sich nicht naturgesetzlich bestimmen läßt.

Auf der Basis der Beobachtungsdaten lassen sich jedoch Hypothesen formulieren, die von der Vorstellung ausgehen, daß jeder Vorgang Ursachen hat und daß alles Geschehen sich wenigstens theoretisch aus der Verfolgung einer Kausalkette oder weniger Kausalketten erklären läßt.

Mit Hilfe der vorliegenden Daten läßt sich das vorliegende Entscheidungsproblem lediglich von der ökonomischen Seite behandeln. Wenn die Überprüfung einer ökonomisch ausgerichteten Hypothese ergibt, daß aufgrund der Beobachtungsdaten diese Hypothese nicht verworfen werden kann, so bedeutet dies, daß sie nicht falsch ist. Dies besagt jedoch nicht, daß sie richtig ist, da auch viele andere nichtmonetäre Hypothesen möglicherweise nicht verworfen werden können /6.37/.

Für die Hypothesenformulierung gibt es zwei Möglichkeiten, um den vermuteten Zusammenhang zwischen ökonomischen Ausgangsdaten und der Verbraucherentscheidung zu testen.

In einer Gegenhypothese  $H_0$  (Nullhypothese) wird der vermutete Zusammenhang negativ formuliert. So wird zunächst unterstellt, daß es zwischen der Verbraucherentscheidung und den Preis- und Kostenentwicklungen keinen Zusammenhang gibt. Durch Widerlegung der Gegenhypothese läßt sich die Arbeitshypothese indirekt bestätigen. In der Arbeitshypothese  $H_1$  (Alternativhypothese) wird der Sachverhalt des vermuteten Zusammenhangs positiv formuliert, d. h. es wird behauptet, daß es zwischen Kostendaten und Verbraucherentscheidung einen Zusammenhang gibt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Bestätigung einer Hypothese stets schwächer begründet ist als ihre Widerlegbarkeit /6.38/. Ein unumstößlicher Beweis für die Richtigkeit der aufgestellten Hypothesen kann also nicht geführt werden, dies wäre nur durch eine nachträgliche Befragung der Entscheider möglich.

Da sowohl Preis- und Kostenentwicklung als auch das Verbraucherverhalten Veränderungen unterliegen, kann über einen größeren Zeitraum kein Pauschalurteil abgegeben werden. Aus diesem Grunde werden die Hypothesen in besonders wichtigen Zeitabschnitten untersucht.

#### 6.2.4 Versorgungsgebiete mit dominierender Erdgasversorgung

In Versorgungsgebieten mit dominierender Erdgasversorgung treten als Wettbewerber Erdgas, Heizöl und Nachtstrom auf, während Fernwärme fehlt und Kohle nur einen Anteil unter 1 % erreicht (vgl. Bild 6.10). Wegen der nur geringen Bedeutung der Kohle wird sie auf diesem Teilmarkt nur kurz umrissen.

Ebenfalls wird der Vergleich der Erdgasheizungen mit elektrischen Wärmepumpen nicht berücksichtigt, da die Marketingstrategie der Strom- u. Wärmepumpenwirtschaft sich ganz auf die Substitution des Heizöls konzentrierte und auch nur dort erste Erfolge hatte.



Es werden jeweils die ökonomischen Ausgangsbedingungen zwischen Erdgas und einem Substitutionsträger im Zeitraum 1972 - 1984 dargestellt und ihr Einfluß auf die Verbraucherentscheidung untersucht. Während die Darstellungen der Heizungsstrukturen zeigten, wie der Verbraucher sich entschieden hat, wird nunmehr in systematisierten Heizkostenvergleichen untersucht, wie der Verbraucher oder Planer sich aus monetärer Sicht hätte entscheiden sollen.

#### 6.2.4.1 Heizkostenvergleich Erdgas - Heizöl

Der Wechsel vom Heizöl zum Erdgas war der entscheidende Wandel bei der Wahl von Heizsystemen in Neubauten im Betrachtungszeitraum 1972 - 1984. Dieser Prozeß setzte Mitte der sechziger Jahre ein und führte dazu, daß in Versorgungsgebieten mit dominierender Erdgasversorgung Erstinvestoren sich bereits von der ersten Ölpreiskrise in stärkerem Maße für Erdgas als für Heizöl entschieden (vgl. Bild 6.10). Im Zeitraum der beiden Ölpreiskrisen errang Erdgas dann die heute dominierende Rolle in diesen Versorgungsfällen.

##### 6.2.4.1.1 Sensitivitätsanalyse

Um die Bedeutung der einzelnen Einflußgrößen auf den Kostenvergleich Erdgas - Heizöl transparent zu machen, wird für zwei wichtige Jahre eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt. Die Zeitpunkte beziehen sich auf die Jahre 1977 bzw. 1984. Mit diesen beiden Jahren wird die Spannweite der Wärmeschutzanforderungen an Neubauten einbezogen, somit wird der volle Spielraum für Investitionskosten und Energiemengen berücksichtigt.

In Tab. 6.3 sind die Parameter genannt, deren Einfluß durch Variation ihrer Basiswerte untersucht wurde. Bezugspunkt der Rechnungen sind die Differenzkosten zwischen Erdgas und Heizöl im Basisfall. Diese Differenzkosten sind der Unterschied der gesamten Heizkosten zwischen beiden Systemen. Mit Hilfe der

Parameter	Symbol	Einheit	Jahr	Basiswert (Mittlere Variante)						Variation				Minimale Variante		Maximale Variante	
				Erdgas	Öl	Nr.	Erdgas	Nr.	Öl	Erdgas	Öl	Erdgas	Öl	Erdgas	Öl	Erdgas	Öl
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12	13	14		
	Energiekosten	EK															
1	Energiepreis	p	DPf/kWh	1977	4.45	2.99	1	+/- .94	3	+/- .03		P <sub>min</sub>	P <sub>max</sub>	P <sub>max</sub>	P <sub>min</sub>		
2				1984	7.87	7.52	2	+/- .52	4	+/- .3							
3	Nutzungsgrad	η	-	1977	0.73	0.72						η <sub>max</sub>	η <sub>max</sub>	η <sub>min</sub>	η <sub>min</sub>		
4				1984	0.79	0.78	5	0.82	5	0.80							
5	Klimazone	Z	-	1977	1		6	2				1					
6				1984			7										
7	Vollbenutzungs- stunden	b <sub>v</sub>	h/a	1977													
8				1984													
9	Wartungskosten	WK	DM/a	1977	125	255	8	+/- 10%	10	+/- 10%		90 %	110 %	110 %	90 %		
10				1984	212	360	9		11								
	Kapitalkosten	KP															
11	Investition	I <sub>v</sub>	DM	1977	12406	17251	12	+/- 5%	14	+/- 5%		95 %	105 %	105 %	95 %		
12				1984	15264	18392	13		15								
13	Zins	ZS	%	1977	8		16	+/- 2				8		8			
14				1984			17										
15	Steuer/ Subventionen	ST	%	1977													
16				1984													
	Haustyp	HT															
17	Wohnfläche	WF	m <sup>2</sup>	1977	140		18	100	20	190		100		190			
18				1984			19		21								
	Heizkostendifferenz																
19	Erdgas - Öl	DK	DM/a	1977	- 49.20		Vergleichs- systeme				Erdgas = Erdgaskessel				Öl = Heizölkessel		
20				1984	- 533.7												

Tab. 6.3: Parametervariation für Heizkostenvergleich Erdgas - Heizöl

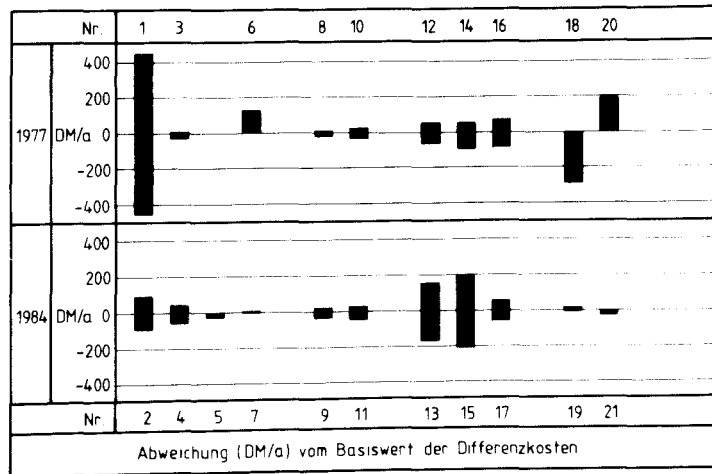


Bild 6.16: Sensitivität der Parametervariation beim Heizkostenvergleich Erdgas - Heizöl

Variationsrechnungen werden Abweichungen von diesen Differenzkosten ermittelt. Während in der Regel nur ein Parameter geändert wird, wird bei der Veränderung der Klimazone und des Haustyps notwendigerweise mehr als eine Parameterveränderung vorgenommen. Ebenso werden bei der Nutzungsgradvariation aus technischen Plausibilitätsgründen Wertepaare getestet.

Die Ergebnisse der Variationsrechnungen sind in Bild 6.16 dargestellt. Als besonders sensitiv erweisen sich die Veränderungen der Energiepreise (Erdgas), der Investitionskosten und des Haustyps. Zu beiden Zeitpunkten sind die Ausprägungen dieser Faktoren jedoch von unterschiedlicher Bedeutung.

Die Variation der Klimazone wird hier nur zur Einschätzung aufgeführt, wegen des geringen Anteils der Klimazone 2 im untersuchten Versorgungsgebiet wird sie bei weiteren Rechnungen nicht berücksichtigt. Da die Zinssatzvariation in Planungsrechnungen keinen großen Einfluß hatte, bleibt sie bei der Ermittlung extremer ökonomischer Spannbreiten zwischen beiden Heizsystemen ebenfalls außer Betracht. Der Einfluß der Kapitalvariation wird durch die Veränderung der Investitionshöhe berücksichtigt.

#### 6.2.4.1.2 Spannbreite der Heizkosten

Die Spannbreite der Kostenrelationen wird durch Kombination der günstigen Merkmale eines Systems mit den ungünstigen des Vergleichssystems ermittelt (vgl. Tab. 6.3). In der maximalen Variante wird z. B. der ungünstigste Erdgaspreis mit dem günstigsten Heizölpreis kombiniert. Diese Vorgehensweise erfolgt bei allen Parametern, so daß insgesamt die günstigsten Merkmalsausprägungen eines Systems mit den ungünstigsten des Vergleichssystems kombiniert werden. Bei der minimalen Variante ergibt sich die umgekehrte Zuordnung.

Die Ergebnisse sind in Bild 6.17 sowohl für Teilkosten (Energiekosten) als auch für Vollkosten (gesamte Heizkosten) aufgetragen, sie beziehen sich jeweils auf das 1. Betriebsjahr (statische Rechnung).

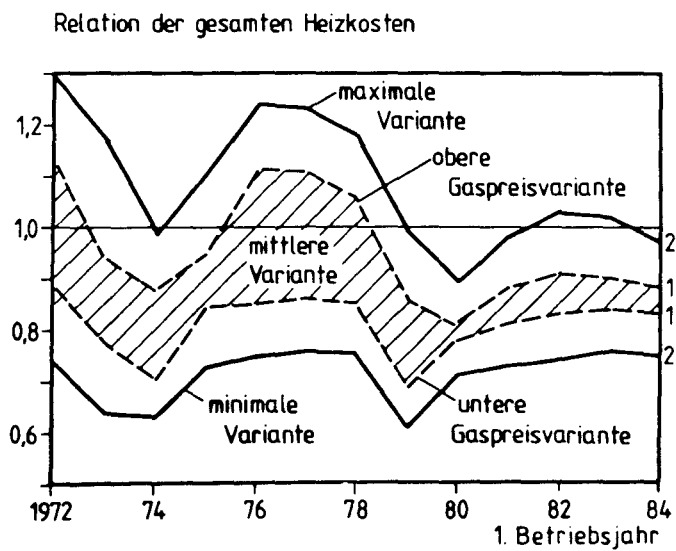
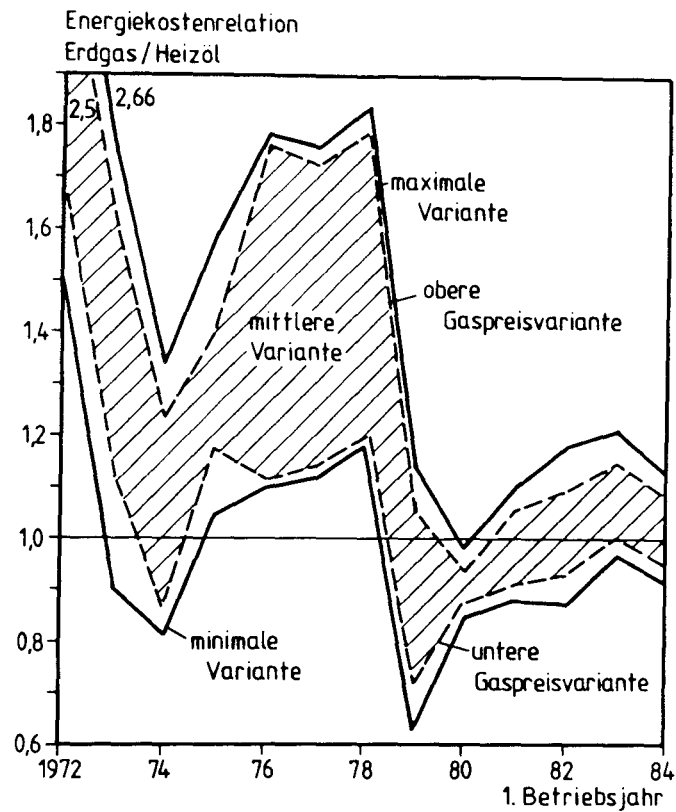


Bild 6.17: Entwicklung der Kostenrelationen zwischen Erdgas- u. Ölkessel im Ein- und Zweifamilienhausbereich (Neubau) bei statischer Rechnung

- Energiekosten (obere Grafik)
- gesamte Heizkosten (untere Grafik)

1: Nur Erdgaspreisvariation im Einfamilienhaus (mittlere Variante)

2: Extreme Variation mehrerer Parameter im Ein-, Zweifamilienhausbereich

Annahmen: Tab. 6.3

Die Entwicklung der Energiekosten zeigt deutlich die Einschnitte, die durch die beiden Ölpreiskrisen hervorgerufen wurden. Sie zeigt aber auch, daß Erdgas bis zur zweiten Ölpreiskrise ungünstiger als Heizöl war.

Erst nach der zweiten Ölpreiskrise gab es aus der Sicht des minimalen Wertes auch von der Energiekostenseite Vorteile für Erdgas, die aber gegen Ende 1984 fast aufgehoben sind.

Bei Berücksichtigung der weiteren Kostengruppen (Kapital, Wartung und Instandhaltung) verschieben sich die Kostenrelationen eindeutig zugunsten des Erdgases (Bild 6.17 - untere Grafik). Nach der zweiten Ölpreiskrise liegen die Vollkostenrelationen fast geschlossen unter der Kostengleichheitslinie, d. h. Erdgas ist bei extremer Variation der Parameter im ganzen Bereich günstiger als Heizöl.

#### 6.2.4.1.3 Preisvarianten für den mittleren Haustyp (Basisfall)

Gegenüber der extremen Variation mehrerer Parameter werden im folgenden lediglich die Einflüsse der Variation des Erdgaspreises, des wichtigsten Parameters, berücksichtigt (s. Bild 6.17). Alle anderen Parameter werden mit den Basiswerten der Tab. 6.3 berechnet. Dadurch ergibt sich die Einschätzung der Heizkosten für einen bestimmten Haustyp, dies ist in diesem Falle das freistehende Einfamilienhaus (140 qm), das von der Größenordnung zwischen dem Reihenhaus (100 qm) und dem Zweifamilienhaus (190 qm) liegt. Die Diskussion der Ergebnisse an einem mittleren Haustyp führt zur Vereinfachung der Darstellung, ohne daß wesentliche Aussagen verändert werden.

Die Entwicklung der Energiekostenrelationen ist fast identisch mit der extremen Parametervariation, da die Variation des Heizölpreises auf diese Kostenrelation einen wesentlich geringeren Einfluß nimmt als der Erdgaspreis (s. Bild 6.17 - obere Grafik). Die Berücksichtigung der Basiswerte (mittlere Werte) der übrigen Kostengruppen führt zu einer Verengung der Bandbreiten des Kostenverlaufs, prinzipiell zeigt sich jedoch auch hier der Kostenverlauf der extremen Parametervariation (s. Bild 6.17 - untere Grafik).

Zur Einschätzung dieser relativen Kosten sind in Bild 6.18 absolute Werte für Energiekosten und gesamte Heizkosten dargestellt. Ausgewählt wurden die für die Energiepreisentwicklung besonders wichtigen Zeitpunkte. Beim Vergleich der absoluten Höhe der Kosten sind die veränderten Wärmeschutzanforderungen (1978 und 1984) zu beachten.

In Bild 6.19 sind die Kostenstrukturen beider Heizsysteme detailliert dargestellt. Für diese Grafik wurde nur eine mittlere Erdgaspreisvariante als Mittelwert der oberen und unteren Variante einbezogen. Durch den Vollkostenvergleich wird deutlich, daß die Vorteile des Erdgaskessels nicht unerheblich von den Wartungs- und Instandhaltungskosten mitbestimmt werden, wenngleich der Hauptvorteil durch den wesentlich geringeren Investitionsaufwand entsteht.

Für besonders sensitive Parameter (Preise, Investitionskosten) des Vergleichs werden in den Bildern 6.20 und 6.21 kritische Werte dargestellt.

Der Vergleich kritischer Werte mit angenommenen Werten zeigt einmal den Spielraum auf, der sich durch Annahmenunsicherheit ergibt, zum anderen gibt er einen Einblick in die Preispolitik der Unternehmen der Energiewirtschaft.

In Bild 6.20 wird zunächst ein Überblick über den anlegbaren Erdgaspreis aus dem Vollkostenvergleich mit dem Ölkessel gegeben. Ergänzend sind für beide Preisvarianten die unterstellten (kalkulierten) Erdgaspreise eingetragen. Für die untere Preisvariante bleibt im gesamten Betrachtungszeitraum ein deutlicher Abstand zum anlegbaren Gaspreis.

Die diesen Kurs verfolgenden Ortsgasunternehmen haben also die volle Anlegbarkeit bei weitem nicht ausgeschöpft, im Vordergrund stand die Penetration in den Wärmemarkt bei günstigen Vollkosten des Erdgases. Dagegen wurde von Unternehmen, die preispolitisch die obere Variante verfolgten, zeitweilig der

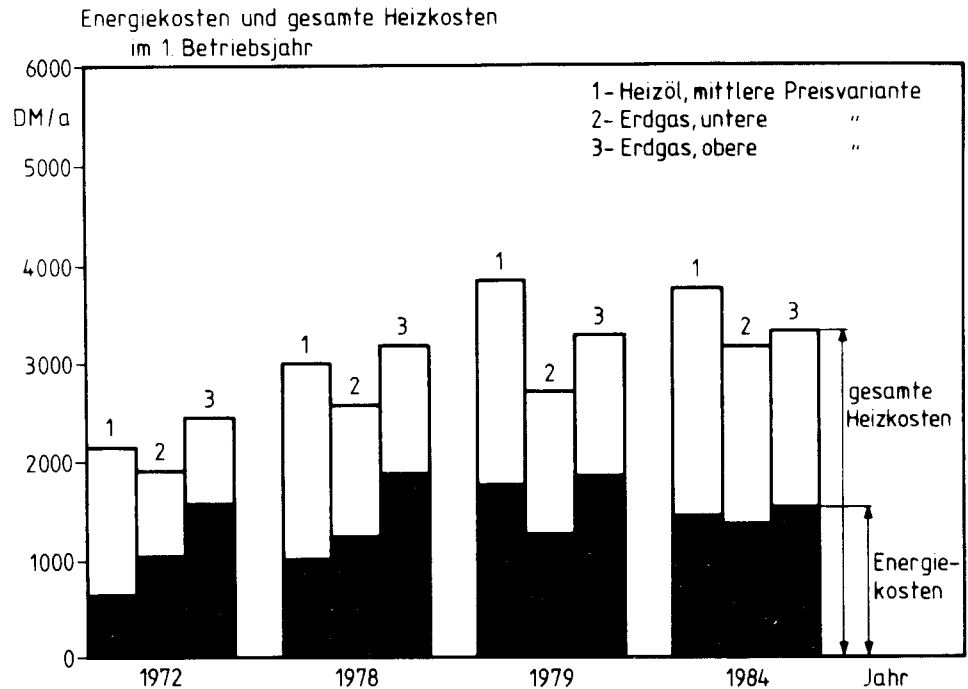


Bild 6.18: Vergleich der Energiekosten und der gesamten Heizkosten zwischen Erdgas- und Ölkessel für ausgewählte Jahre (mittlere Variante)  
Anm.: 1978 und 1984 verändertes Wärmeschutzniveau  
Annahmen: Tab. 6.3

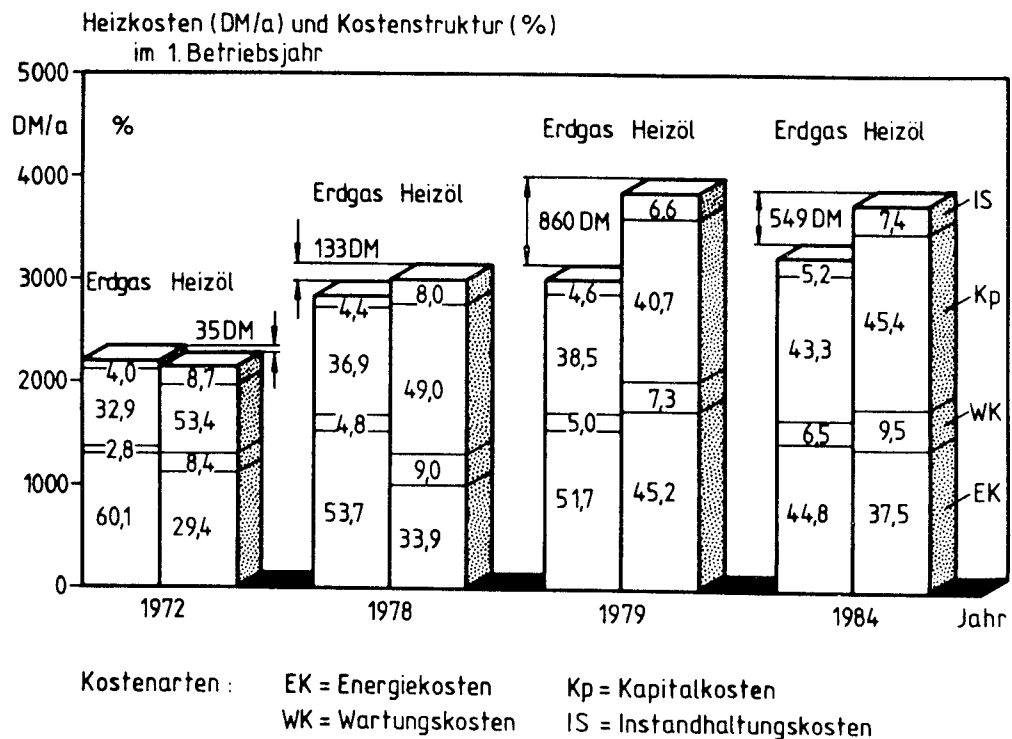


Bild 6.19: Vergleich der absoluten Heizkosten und Kostenstrukturen zwischen Erdgas- und Ölkessel für ausgewählte Jahre  
Anm.: 1978 und 1984 geändertes Wärmeschutzniveau  
Annahmen: Tab. 6.3

anlegbare Erdgaspreis überschritten, d. h. Erdgas wurde bei Einbeziehung aller Kostenelemente mit einem Aufschlag (Premium) gegenüber Heizöl verkauft.

Zur Ermittlung der anlegbaren Kosten wurde sowohl statisch als auch dynamisch gerechnet. Bei der statischen Rechnung wird nur das erste Betriebsjahr berücksichtigt, während aus dynamischer Sicht vom ersten Betriebsjahr bis zum Endpunkt des Betrachtungszeitraumes (1984) die tatsächliche Preisdynamik nachvollzogen wird. Die dynamischen Rechnungen werden nicht als Entscheidungsgrundlage herangezogen, sie ermöglichen jedoch eine nachträgliche Beurteilung der Wahl für Heizsysteme über eine größere Zahl von Betriebsjahren.

Aus statischer Sicht ist zunächst festzustellen, daß für die obere Preisvariante analog zu den anlegbaren Preisen im Zeitraum 1976 - 1978 die Anlegbarkeit der Kosten deutlich überschritten wird (vgl. Bild 6.20). 1976 wurde die Anlegbarkeit nur zu ca. 60 % erreicht, somit dürften auch mögliche statistische Erhebungsfehler an diesem Sachverhalt nichts ändern. Der anlegbare Preis wurde bei der oberen Preisvariante 1976 um etwa 20 % überschritten. Die Wirkung der Kostenveränderung ist also nur etwa halb so groß wie die der Preisveränderung. Dies wird in Bild 6.21 durch die größere Spreizung der Kurven deutlich.

Zur Ergänzung der statischen Rechnung wurde die Anlegbarkeit der Kosten aus dynamischer Sicht eingetragen. Die dynamische Betrachtung führt zu einer Glättung der Kurven, da nunmehr neben gleichbleibendem Kapitaldienst für Investition und Instandhaltung die Preisdynamik für Energie- und Wartungskosten berücksichtigt wird. Die außerordentliche Erhöhung des Erdgaspreises in der oberen Variante im Jahre 1976 tritt nun nicht mehr hervor, da die Einbeziehung einer größeren Zahl von Betriebsjahren ausgleichend wirkt. Da beim Vergleich konventioneller Systeme üblicherweise statisch gerechnet wird, hätte die Entscheidung des Verbrauchers oder Planers im Jahre 1976 gegen Erdgas lauten müssen, während aus dynamischer Sicht Erdgas sich als vorteilhaft erweist. Bei der unteren Variante wäre die Entscheidung für Erdgas im ganzen Zeitraum robust gewesen, da beide Wege die Vorteilhaftigkeit des Erdgases aufzeigen.



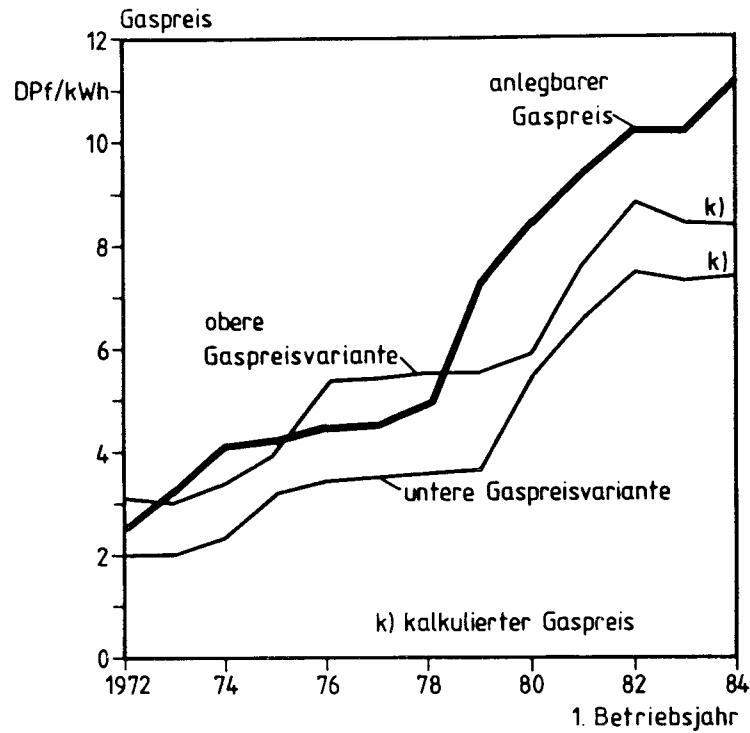


Bild 6.20: Anlegbarer und kalkulierter Erdgaspreis aus dem Heizkostenvergleich zwischen Erdgas- und Ölkessel für Neubau-Einfamilienhaus (mittlere Variante)  
Annahmen: Tab. 6.3

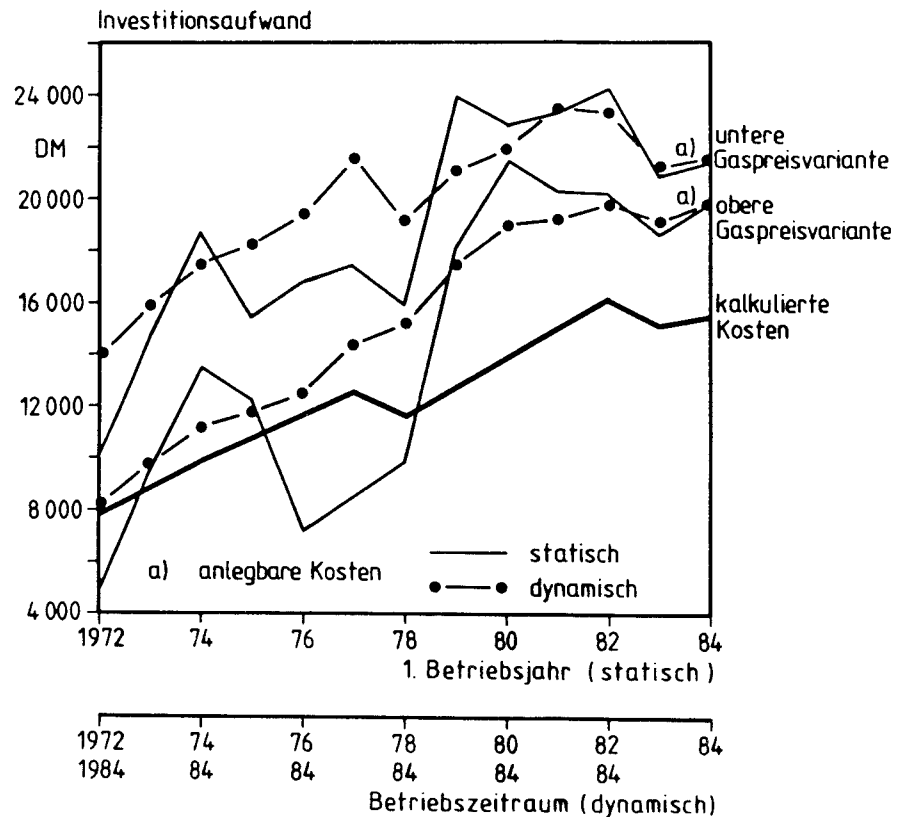


Bild 6.21: Anlegbare und kalkulierte Kosten für den Erdgas-kessel aus dem Heizkostenvergleich mit dem Ölkessel für Neubau-Einfamilienhaus (mittlere Variante)  
- statische und dynamische Rechnung,  
Anm.: 1978, 1983 und 1984 verändertes Heizleistungs-niveau  
Annahmen: Tab. 6.3

Aufgrund der vorgegebenen Kostenstruktur und der festen Preisbindung des Erdgases an Heizöl gilt dies für dynamische Rechnungen auch zukünftig, da es keine Strukturverschiebungen zugunsten des Heizöls geben kann. Dies ist jedoch bei statischer Rechnung möglich, wenn z. B. der Heizölpreis sich drastisch reduziert, Erdgas diesem aber nur mit der Verzögerung eines halben bis ganzen Jahres folgen kann.

Zur weiteren Einschätzung des Kostenvergleichs zwischen Erdgas und Heizöl sind in Bild 6.22 die Differenzkosten für Energie und gesamte Heizkosten sowohl aus statischer als auch aus dynamischer Sicht dargestellt. Bei statischer Ermittlung der Energiedifferenzkosten erwies sich in der oberen Preisvariante die Entscheidung für Heizöl als robust, wenn man auf einen Vollkostenvergleich verzichtete und nur Energiekosten als Grundlage seiner Entscheidung berücksichtigen würde. In der unteren Variante zeichnet sich keine stabile Situation ab, die Vorteilhaftigkeit im Betrachtungszeitraum wechselte. In der oberen Variante änderte auch eine dynamische Betrachtung nichts an der Vorteilhaftigkeit des Heizöls, während Erdgas in der unteren Variante dem Heizöl im ganzen Zeitraum mindestens gleichwertig war.

Die Vollkostenbetrachtung (gesamte Heizkosten) ändert diese Relationen entscheidend. Bis auf den Zeitraum 1976 - 1978, als in der oberen Variante Heizöl kurzfristig günstiger war, liegt in allen betrachteten Rechnungen Erdgas günstiger als Heizöl. Diese Darstellungen machen auch deutlich, warum die Gaswirtschaft in ihren publizierten Heizkostenvergleichen die konsequente Anwendung der VDI 2067 mit allen Kostenbestandteilen als äußerst wichtig erachtete (vgl. Kap. 5).

Bild 6.23 zeigt diesen Effekt auf. Es wurde angenommen, daß der Verbraucher oder Planer zum einen auf die Einbeziehung des Tanklagerraums keinen Wert legt. Als verstärkender Effekt wurde zum anderen angenommen, daß für beide Systeme gleiche Wartungskosten angesetzt werden können.

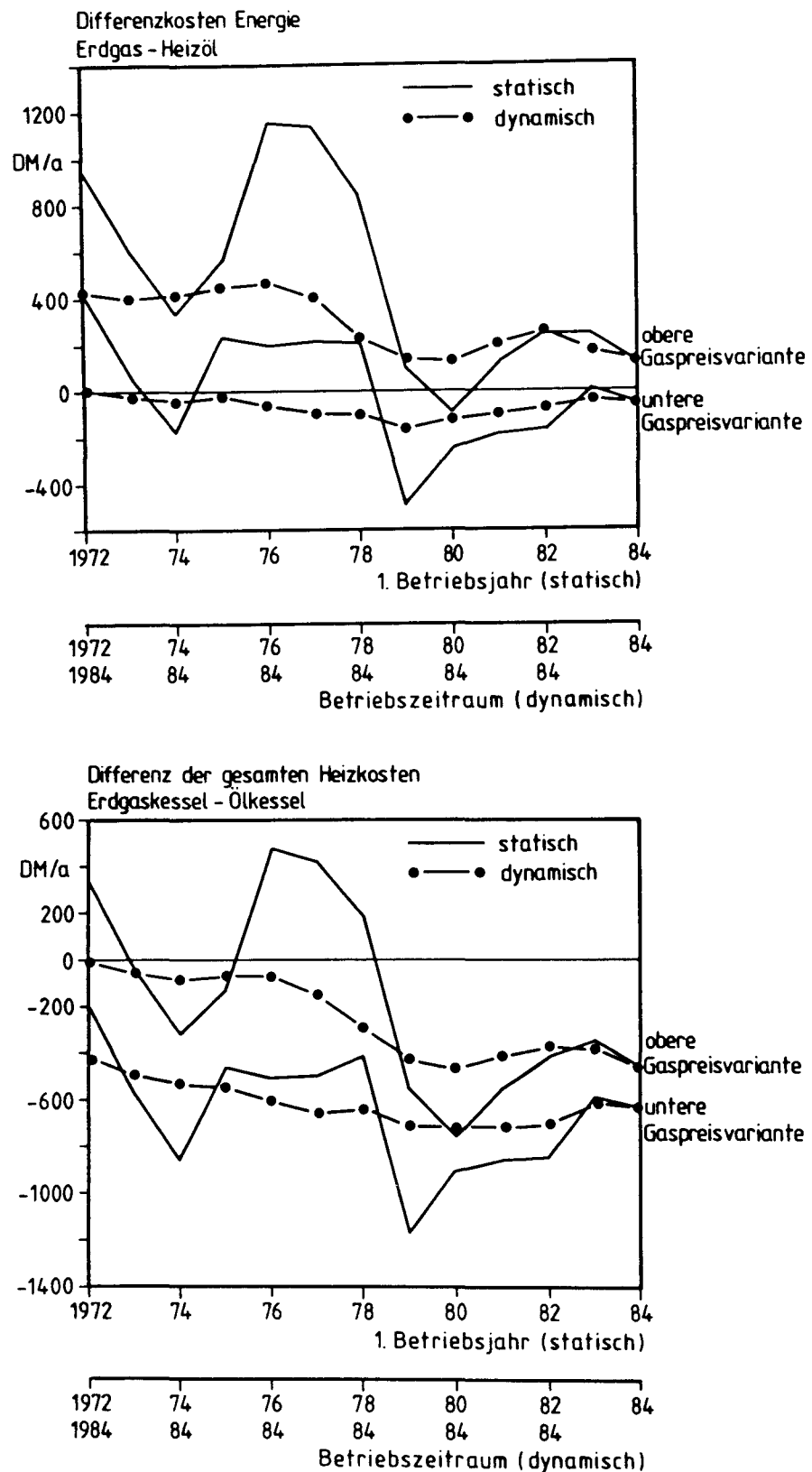


Bild 6.22: Entwicklung der Differenzkosten zwischen Erdgas- und Ölkessel aus statischer und dynamischer Rechnung für ein Neubau-Einfamilienhaus (mittl. Var.)  
 - Energiekosten (obere Grafik)  
 - gesamte Heizkosten (untere Grafik)  
 Anm.: 1978, 1983 und 1984 geändertes Heizleistungsniveau  
 Annahmen: Tab. 6.3

Für die obere Variante verschiebt sich die Kurve von 2 nach 2', unter diesen Umständen bringt eine reduzierte Vollkostenrechnung kaum noch Vorteile für Erdgas. Im Fall der günstigen Erdgaspreisvariante bleiben die Vorteile zwar erhalten (Verschiebung von 1 nach 1'), aber ein 10 %-Kostenvorteil gerät schon in den durch Annahmenunsicherheit hervorgerufenen Unschärfebereich.

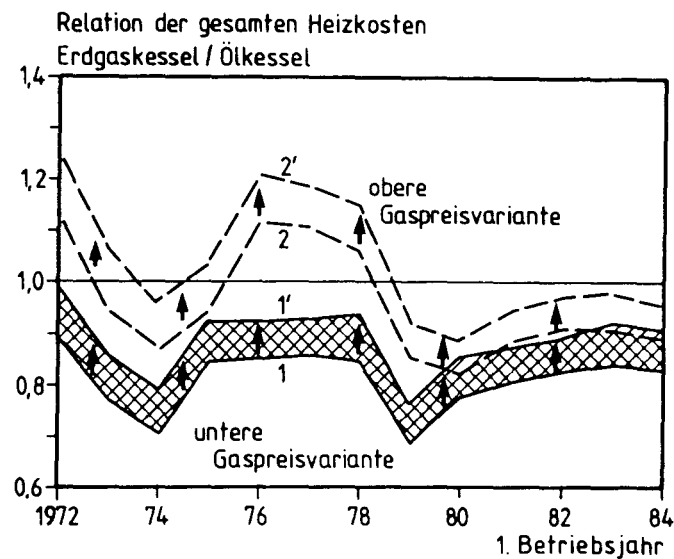


Bild 6.23: Veränderung der Heizkostenrelationen zwischen Erdgas- und Ölkessel bei Annahme gleicher Wartungskosten und Nichtbewertung des Tanklagerraumes für den Ölkessel  
- statische Rechnung  
- Neubau-Einfamilienhaus (mittlere Variante)

#### 6.2.4.1.4 Heizkostenentwicklung und Verbraucherentscheidung

##### 6.2.4.1.4.1 Einfluß der Zeitverzögerung zwischen Rechnung und Baufertigstellung

Innerhalb der Analyse der Heizkosten wurde bisher immer nur Bezug auf ein jeweiliges Planungsjahr genommen. Bei der Untersuchung der Verbraucherentscheidung muß aber der Zeitverzug zwischen der Erstellung der Rechnung und der später liegenden Baufertigstellung berücksichtigt werden. Bild 6.24

zeigt den Zeitverzug zwischen Baugenehmigung und Baufertigstellung. Wenn man davon ausgeht, daß zum Zeitpunkt der Baugenehmigung die Planer-Rechnungen für den Heizkostenvergleich erstellt wurden, so kann zwischen diesem Zeitpunkt und dem Zeitpunkt der Baufertigstellung, zu dem etwa auch die Verbraucherentscheidung registriert wird, ein Unterschied von mehreren Jahren liegen. Nach Bild 6.24 werden im Jahr der Baugenehmigung etwa 15 % der beantragten Neubauten auch fertiggestellt. Im Jahr vor der Baufertigstellung werden etwa 50 % der Neubauten beantragt, während davor noch ca. 35 % der Anträge zur Genehmigung eingereicht werden. Der 35 %-Bereich ist in der Statistik lediglich pauschal erfaßt, welchen Zeitraum er erfaßt, wird nicht genannt /6.33/.

Zur Vereinfachung wird angenommen, daß maximal 3 Jahrgänge in die Verbraucherentscheidung eingehen (Gleichungen 6.1 - 6.3). Die Grenzbetrachtung stellt der Fall dar, in dem nur die Kosten des Planungsjahres berücksichtigt werden (Gl. 6.1). In der Gl. 6.2 werden zwei Planungsjahre einbezogen, die Koeffizienten berücksichtigen eine kurzfristige Änderung der Planungsentscheidung. Gl. 6.3 gibt die aus der Bautätigkeitsstatik beobachteten Zusammenhänge wieder. Zur Ermittlung der Kostenrelationen im Jahr der Baufertigstellung (dokumentierte Verbraucherentscheidung) ergeben sich folgende Kostenformeln

$$a = 1,0 \cdot KR_{(i)} \quad \text{Gl. 6.1}$$

$$b = 0,27 \cdot KR_{(i)} + 0,73 \cdot KR_{(i-1)} \quad \text{Gl. 6.2}$$

$$c = 0,15 \cdot KR_{(i)} + 0,50 \cdot KR_{(i-1)} + 0,35 \cdot KR_{(i-2)} \quad \text{Gl. 6.3}$$

$K_R$  = Kostenrelation zwischen zwei Heizsystemen  
Index i = Jahr der Baufertigstellung

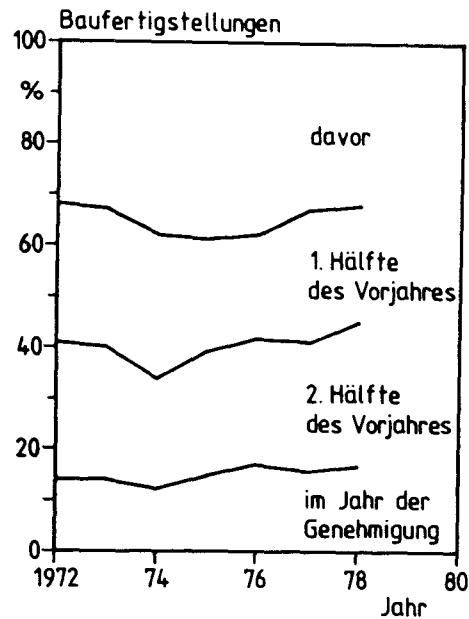


Bild 6.24: Zeitverzug zwischen Baugenehmigung und Bau-  
fertigstellung bei Ein- und Zweifamilienhäusern  
/6.33/

#### 6.2.4.1.4.1 Substitutionsbewegungen

In Bild 6.25 ist die Entwicklung der Verbraucherentscheidung für Erdgas und Heizöl dargestellt. In die Grafik sind die Ölpreiskrisen mit einem Zeitraum von 3 Jahren grob umrissen eingezeichnet. Sie werden jeweils in zwei Perioden unterteilt. Der erste Abschnitt bezieht sich auf die Vorlaufzeit, die benötigt wird, ehe eine Reaktion frühestens erkennbar wird. Der zweite Abschnitt bezieht sich auf den Zeitraum, in dem eine Reaktion zu erwarten ist. Aus Bild 6.25 geht hervor, daß Heizöl sich in der Verbrauchergunst schon vor der 1. Ölpreiskrise auf starker Abwärtsbewegung befand und bereits vom Erdgas überholt wurde. Ab 1976 verlangsamt sich der Abwärtstrend jedoch. Als noch eine Abwärtsbewegung zu erwarten war, hat sich Heizöl in der Verbrauchergunst auf allerdings niedrigem Niveau stabilisiert. Zu Beginn der zweiten Ölpreiskrise wird der Zugewinn des Erdgases bereits nach einem Jahr deutlich, dies deutet darauf hin, daß noch kurzfristig Umstellungen vorgenommen wurden. Zum Ende des Betrachtungszeitraumes zeigt weder die Entwicklung des Erdgases noch des Heizöls Veränderungstendenzen, offenbar haben sich beide Energieträger auf diesem Niveau stabilisiert.

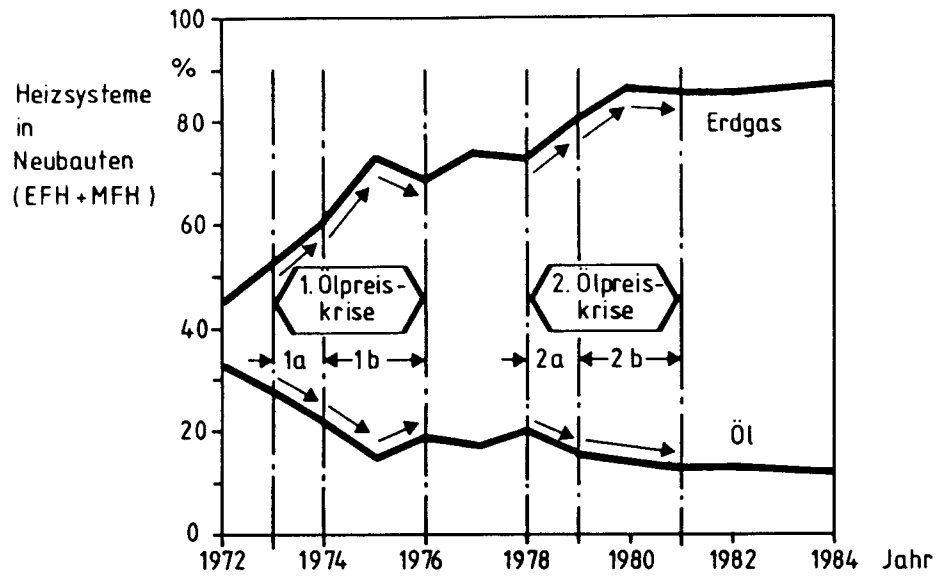


Bild 6.25: Neubaumarktanteile (Wohnungen) für Erdgas und Heizöl in Versorgungsgebieten mit dominierender Erdgasversorgung  
a) Vorlaufzeit  
b) Reaktionszeitraum  
EFH-Einfamilienhaus MFH-Mehrfamilienhaus

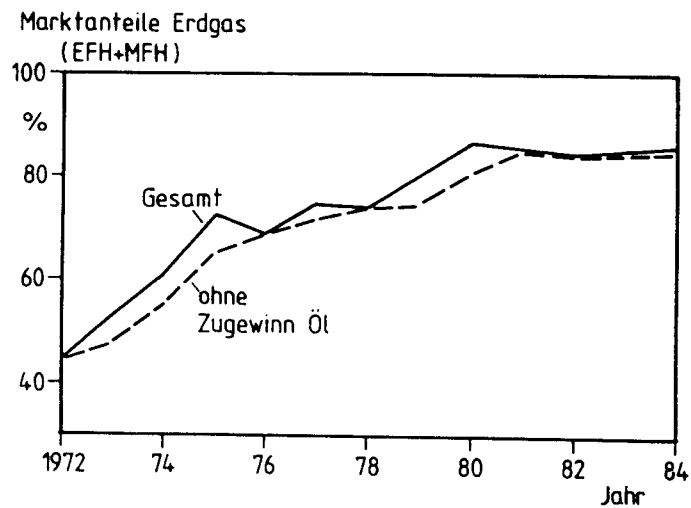


Bild 6.26: Marktanteile für Erdgas bei direktem Wettbewerb mit dem Heizöl

Bild 6.26 zeigt noch einmal die Entwicklung der Marktanteile des Erdgases. Zusätzlich ist der Verlauf eingezeichnet, wie er sich ohne Berücksichtigung der Wanderungen zwischen beiden Heizsystemen ergeben hätte. Im gesamten Betrachtungszeitraum verlaufen die Substitutionsbewegungen weitgehend einseitig vom Heizöl zum Erdgas, nur 1976 gab es geringe Verluste des Erdgases.

#### 6.2.4.1.4.3 Verbraucherreaktion

Während die Analyse der Heizungsstrukturen zeigte, wie der Verbraucher oder Planer sich entschieden hat, wurde durch den Heizkostenvergleich das Spektrum möglicher Handlungsalternativen aufgezeigt. Durch Gegenüberstellung der Verbraucherentscheidung mit der Kostenentwicklung wird die Korrelation zwischen beiden Größen überprüft.

Die Verbraucherreaktion wird nach 2 Kriterien überprüft. Einmal wird davon ausgegangen, daß vorrangig Energiepreise für die Entscheidung maßgeblich waren. Als Kriterium werden Energiekostenrelationen herangezogen. Zum anderen wird davon ausgegangen, daß der Verbraucher bzw. Planer seine Entscheidung auf einen Vollkostenvergleich stützt. Hierfür werden Vollkostenrelationen berücksichtigt. In beiden Fällen wurden die Relationen aus statischen Rechnungen nach VDI 2067 ermittelt.

##### a) Energiekosten

Zur Überprüfung der Korrelation zwischen Verbraucherentscheidung und Preisentwicklungen wird zunächst die Nullhypothese ( $H_0$ ) aufgestellt:

$H_0$ : "Zwischen der Entwicklung der Energiekosten und der Verbraucherentscheidung gibt es keinen Zusammenhang."



Besonders der Vergleich der Wachstumsraten der Kostenrelationen zwischen Erdgas und Heizöl im Vergleich zu den Wachstumsraten der Erdgasanteile (auf der Basis zugewonnener Erdgasmarktanteile) zeigt, daß diese Hypothese nicht gestützt werden kann (Bild 6.27 - untere Grafik). Die zwei Phasen des Erdgaszuwachses 1973 - 1975 und 1979/1980 fallen in den Zeitraum der Ölpreiskrisen und werden durch deutliche Verminderungen der Kostenrelationen zwischen Erdgas und Heizöl bestimmt.

Der Vergleich der Wachstumsraten mit den Erdgaswachstumsraten zeigt auch, daß die gewichteten Mittel aus 2 bzw. 3 Jahren der Verbraucherreaktion näher kommen als die Zuordnung der Einjahreswerte. Dies macht deutlich, daß kurzfristig keine außerordentlich hohen Umstellungen gegenüber ursprünglichen Planungen vorgenommen wurden.

Wenn sich der Verbraucher nach Energiekosten entschieden hat, so entspricht dies aufgrund der dargestellten Kostenrelationen nur zum geringen Teil (minimale Variante) einer ökonomischen Handlungsweise.

Die Alternativhypothese:

H 1: "Der Verbraucher hat sich rational im Sinne der günstigsten Energieträgerwahl im direkten Systemvergleich verhalten",

kann demnach nur für einen kurzen Zeitraum (1979 - 1981) bestätigt werden (vgl. Bild 6.27 - obere Grafik).

Nicht verworfen werden kann auf der Grundlage des vorliegenden Materials die Alternativhypothese:

H 2: "Der Verbraucher hat nach Preiserwartungen entschieden".

Ein großer Teil der Verbraucher, die nicht durch Architekten beraten wurden, dürfte nach Preiserwartungen entschieden haben, denn es ist kaum anzunehmen, daß sie sich mit den auch ihnen

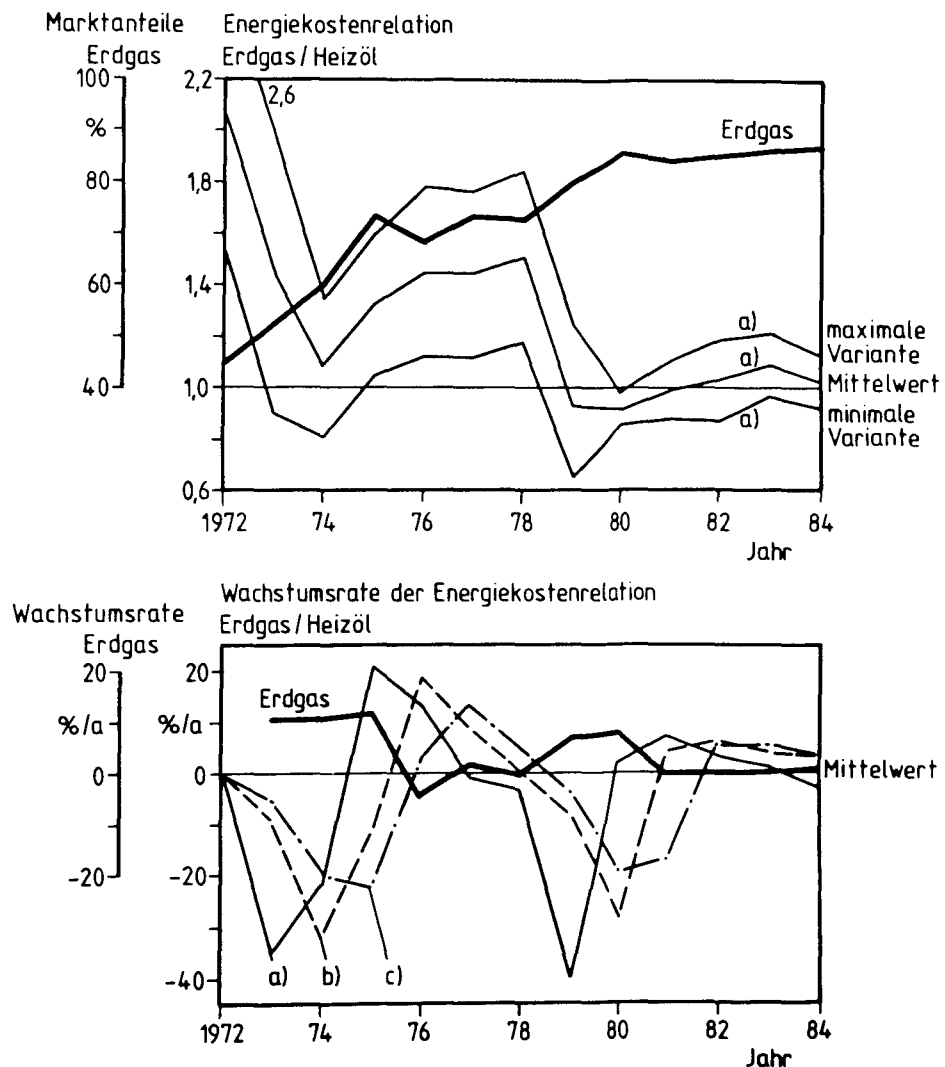


Bild 6.27: Entwicklung der Energiekostenrelationen zwischen Erdgas und Heizöl (obere Grafik) und Entwicklung der Wachstumsraten dieser Energiekostenrelationen (untere Grafik) sowie Entwicklung der Marktanteile des Erdgases (obere Grafik) und der Wachstumsraten des Erdgases bezogen auf die Zugewinne und Verluste zwischen beiden Systemen (untere Grafik)

- Kostenrelationen: extreme Werte und Mittelwerte für Ein- und Zweifamilienhausbereich
- a) 1-Jahresmittel
- b) gewichtetes 2-Jahresmittel
- c) gewichtetes 3-Jahresmittel

Annahmen: Tab. 6.3

verfügbaren Heizkostenvergleichen auseinandergesetzt haben. Die teilweise Entscheidung nach Preiserwartungen hatte zu einem vorfrühten Votum für Erdgas geführt, erst nach der zweiten Ölpreiskrise hatten sich die Preisrelationen auf etwa gleicher Höhe mit Heizöl eingestellt. Preiswürdigkeit gegenüber Heizöl war nur gegeben, wenn ausschließlich der Arbeitspreis des Erdgases mit dem Heizölpreis verglichen wurde, also von unvollkommenen Annahmen ausgegangen wurde. Dieser unvollkommene Vergleich wurde besonders durch die Maßnahme der Gaswirtschaft, den Erdgaspreis mit Einführung der kalorischen Maßeinheiten auf den Brennwert zu beziehen, gefördert. Nur so ist verständlich, daß im Produktbild des Verbrauchers Erdgas als besonders preisgünstig gegenüber den Substitutionsenergieträgern bewertet werden konnte (vgl. Bild 5.60).

#### b) Gesamte Heizkosten

In Bild 6.28 ist analog zur Darstellung der Reaktion der Verbraucher beim Energiekostenvergleich verfahren worden. Ebenso wie dort kann auch hier die Nullhypothese  $H_0$ , diesmal bezogen auf gesamte Heizkosten, abgelehnt werden. Die Alternativhypothese lautet hier:

H 1: "Der Verbraucher hat sich rational im Sinne der Wahl des Systems mit den geringsten Vollkosten entschieden".

Die Wahl des Verbrauchers zeigt die typische Marktreaktion. Bei Verbesserung der Kostenrelation wird vermehrt das kostengünstigere Produkt gekauft. Nach 1981 zeigen sich keine Bewegungen mehr, weil das Erdgas offenbar die Sättigungsgrenze im Vergleich beider Systeme erreicht hat.

Wenn die Annahme des Rationalprinzips hier je nach Zeitabschnitt bestätigt wird, so ist dies noch kein unumstößlicher Beweis für diese These. Sie wird jedoch gestützt durch die Marketingstrategie der Gaswirtschaft, die durch Werbung und Informationsschriften besonders die Zielgruppe der Architekten im Blickfeld hatte /6.39/. Auch in den Heizkostenvergleichen, die die Gaswirtschaft für Energieberater, Architekten und Bauherren laufend zur Verfügung stellte, war nur unter Voll-

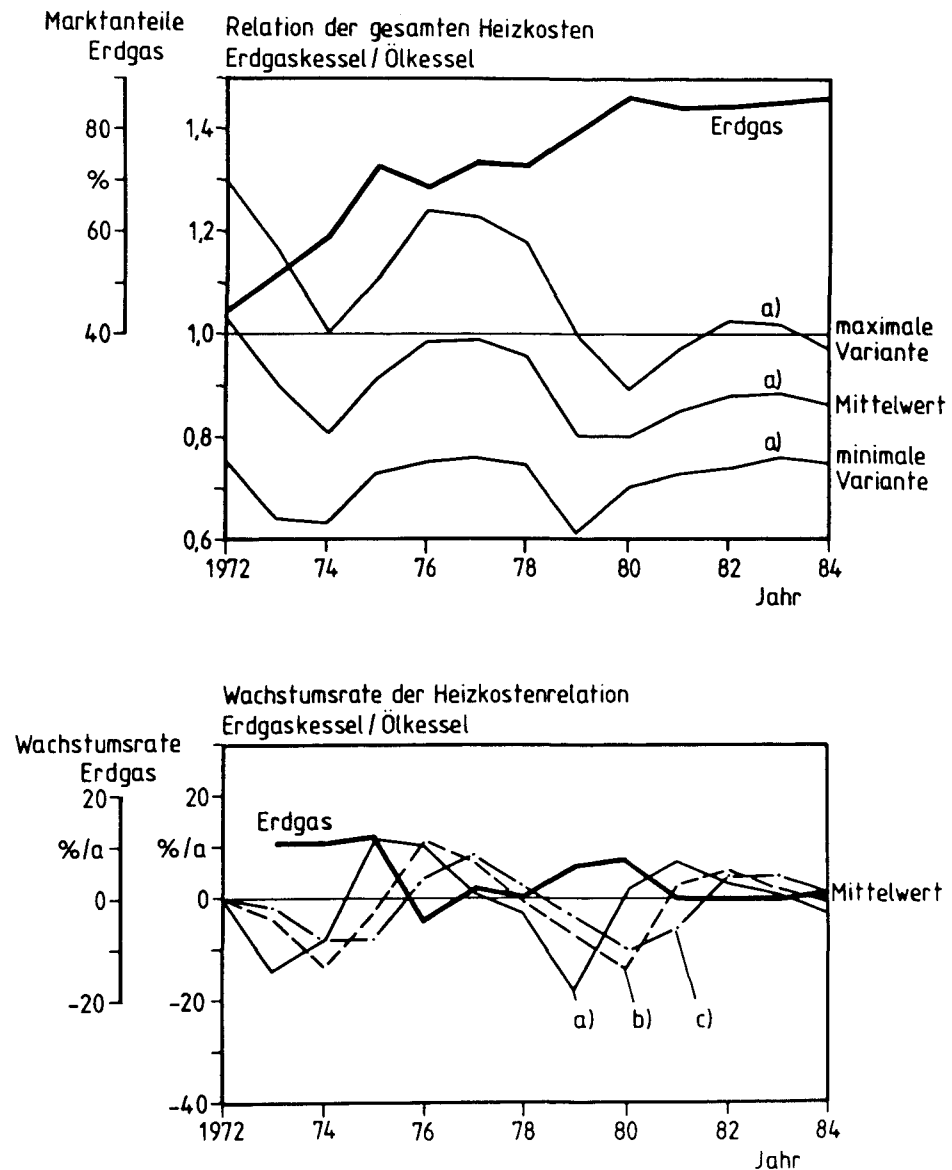


Bild 6.28: Entwicklung der Kostenrelation (gesamte Heizkosten) zwischen Erdgas- und Heizölkessel (obere Grafik) und Entwicklung der Wachstumsraten dieser Kostenrelationen (untere Grafik) sowie Entwicklung der Erdgasmarktanteile (obere Grafik) und der Wachstumsraten des Erdgases bezogen auf die Zugewinne und Verluste zwischen beiden Systemen (untere Grafik)  
 - Kostenrelationen: extreme Werte und Mittelwert für Ein- und Zweifamilienhausbereich  
 a) 1-Jahresmittel  
 b) gewichtetes 2-Jahresmittel  
 c) gewichtetes 3-Jahresmittel  
 Annahmen: Tab. 6.3

kostengesichtspunkten die Vorteilhaftigkeit gegeben (s. Bild 6.29)/6.40/.

In die Grafik sind auch Ergebnisse des letzten großen Heizkostenvergleichs eines Unternehmens der Mineralölwirtschaft (ESSO AG, Hamburg) aus dem Jahre 1971 eingetragen /6.40, 6.41/. Bereits zu diesem Zeitpunkt hatte auch die Mineralölwirtschaft Erdgas unter Vollkostengesichtspunkten günstiger als Heizöl beurteilt. Unter den sich verschlechternden Bedingungen infolge der beiden Ölpreiskrisen hat die Mineralölwirtschaft bewußt darauf verzichtet, mit Heizkostenvergleichen Negativwerbung für Heizöl zu betreiben.

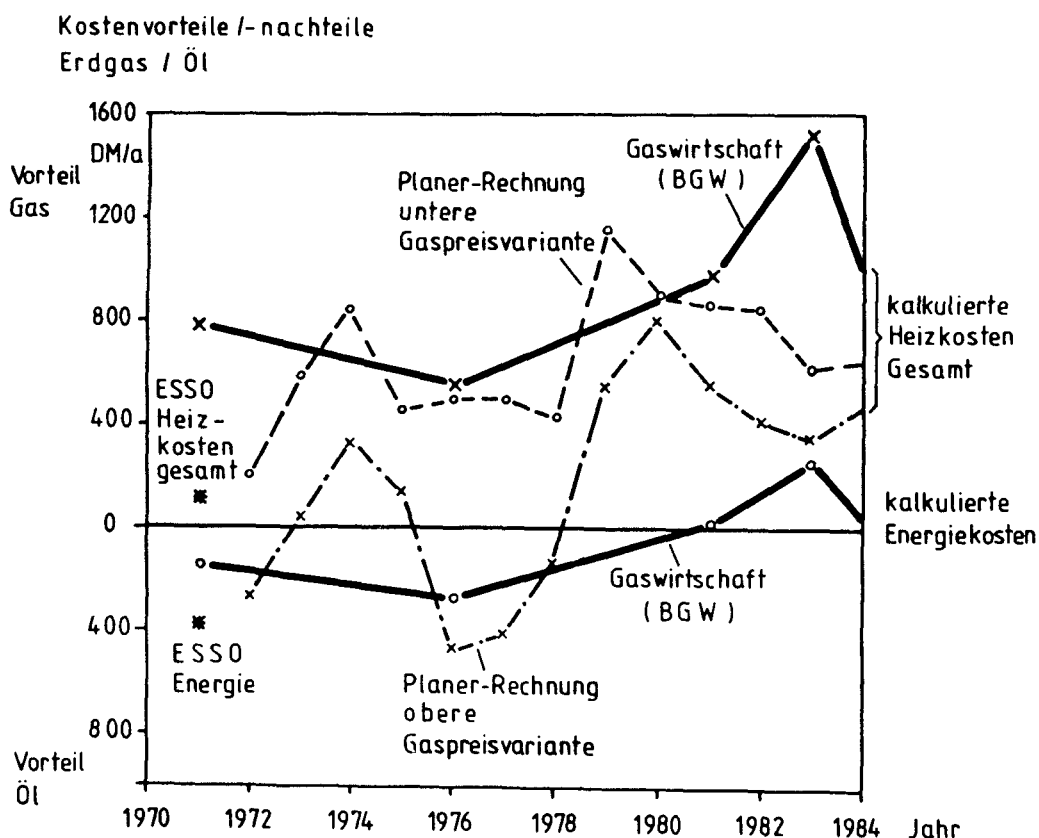


Bild 6.29: Vergleich der Heizkosten zwischen Erdgas- und Ölkessel im Neubau-Einfamilienhaus nach Kostenvergleichen der Energiewirtschaft und eigenen Berechnungen /6.40, 6.41/ (BGW: Bundesverband der Gas- und Wasserwirtschaft)

Zur Einschätzung der Ergebnisse enthält Bild 6.29 auch die eigenen Berechnungen für die untersuchten Erdgaspreisvarianten. Der Vergleich dieser Kurven mit denen der Gaswirtschaft zeigt, daß dieser Wirtschaftszweig Vorteilsmarketing durch Unterstellung günstiger Annahmen betrieb. Wenn man davon ausgeht, daß viele Architekten Präferenzen für Erdgas haben, so kann unterstellt werden, daß häufig keine eigenen Rechnungen durchgeführt wurden, sondern nach diesem Informationsmaterial dem Kunden die Wahl von Heizsystemen erläutert wurde. Das Urteil weicht zwar nicht grundsätzlich von den eigenen Berechnungen ab, die Vorteilhaftigkeit des Erdgases stellt sich jedoch erheblich positiver als dort dar. Der Erfolg des Erdgases gegenüber Heizöl ist also nicht nur ein Erfolg aus Gründen einer weitgehenden ökonomischen Vorteilhaftigkeit, sondern auch einer der Marketingstrategie unter Beteiligung aller Stufen der Gaswirtschaft, die das positive Votum für Erdgas bei Planern und Verbrauchern vorbereitete.

#### 6.2.4.2 Heizkostenvergleich Erdgas - Nachtstrom

##### 6.2.4.2.1 Sensitivitätsanalyse

In Bild 6.30 sind die Ergebnisse der Parametervariation (nach Tab. 6.4) für den Heizkostenvergleich zwischen Erdgaskessel und Nachtstromspeicheröfen dargestellt. Die Vorgehensweise erfolgt analog zum Vergleich Erdgas - Heizöl. Zusätzlich wird hier eine Variation der Vollbenutzungsstunden eingeführt, da es sich bei Nachtspeicheröfen um eine Einzelraumbeheizung handelt, für die gegenüber Zentralheizungsanlagen verringerte Vollbenutzungsstunden üblich sind. Da das gesamte Versorgungsgebiet stromseitig von einem Unternehmen beliefert wird, wird ein einheitlicher Nachtstrom-Basispreis unterstellt.

					Basiswert (Mittlere Variante)		Variation				Minimale Variante		Maximale Variante	
Parameter		Symbol	Einheit	Jahr	Erdgas	Strom	Nr.	Erdgas	Nr.	Strom	Erd- gas	Strom	Erd- gas	Strom
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Energiekosten														
1	Energiepreis	p	DPf/kWh	1977	4.45	6.40	1	+/- .94			P <sub>min</sub>	P	P <sub>max</sub>	P
2				1984	7.87	11.50	2	+/- .52						
3	Nutzungsgrad	η	-	1977	0.73	0.98					η <sub>max</sub>	η	η <sub>min</sub>	η
4				1984	0.79	1.00	3	0.82						
5	Klimazone	Z	-	1977	1		4	2			1			
6				1984			5							
7	Vollbenutzungs- stunden	b <sub>v</sub>	h/a	1977	1750	1650			6	+/- 100	b <sub>v</sub>	b <sub>vmax</sub>	b <sub>v</sub>	b <sub>vmin</sub>
8				1984	1850	1750		7						
9	Wartungskosten	WK	DM/a	1977	125	28	8	+/- 10%	10	+/- 10%	90 %	110 %	110 %	90 %
10				1984	212	40	9		11					
Kapitalkosten														
11	Investition	I <sub>v</sub>	DM	1977	12406	17016	12	+/- 5%	14	+/- 5%	95 %	105 %	105 %	95 %
12				1984	15264	10207	13		15					
13	Zins	ZS	%	1977	8			+/- 2			8		8	
14				1984										
15	Steuer/ Subventionen	ST	%	1977										
16				1984										
Haustyp														
17	Wohnfläche	WF	m <sup>2</sup>	1977	140		18	100	20	190	190		100	
18				1984			19		21					
Heizkostendifferenz														
19	Erdgas - Strom	DK	DM/a	1977	207.0		Vergleichs- systeme				Erdgas = Erdgaskessel			
20				1984	519.9						Strom = Nachtstrom- speicheröfen			

Tab. 6.4: Parametervariation für Heizkostenvergleich Erdgas - Nachtstrom

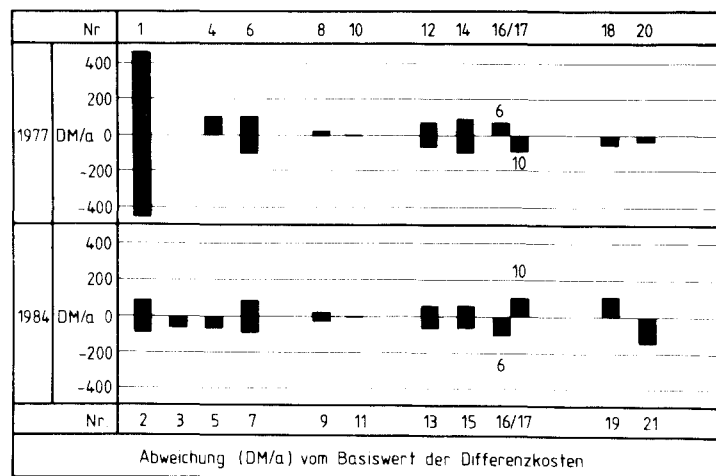


Bild 6.30: Sensitivität der Parametervariation beim Heizkostenvergleich Erdgas - Nachtstrom

Signifikante Veränderungen auf die Differenzkosten zwischen Erdgas und Nachtstrom werden wiederum durch die Erdgaspreisvariation bewirkt. Die Veränderung der Vollbenutzungsstunden um 100 h/a ist von der Abweichung der Haustypvariation und der Investitionsveränderung vergleichbar.

#### 6.2.4.2.2 Spannbreite der Heizkosten

Bei diesem Heizkostenvergleich ist die erhöhte Wärmedämmung nach den Empfehlungen der Elektrizitäts-Versorgungs-Unternehmen zu beachten, die bis 1977 einkalkuliert wurde. In dem Zeitraum 1972 - 1977 verringern sich dadurch die Energiemengen und somit die Energiekosten erheblich, auf der anderen Seite treten Zusatzkosten für Wärmedämmung bei Betrachtung der gesamten Heizkosten auf.

Die extremen Pfade der Entwicklung der Kostenrelationen sind in Bild 6.31 dargestellt (Kurven 2). Sowohl für Energiekosten als auch für Vollkosten ergibt sich eine große Spannbreite über und unter der Kostengleichheitslinie. Bei ungünstiger Parameter-Konstellation für Erdgas (maximale Variante) liegt dieses in beiden Fällen im ganzen Betrachtungszeitraum ungünstiger als Nachtstrom, während besonders günstige Annahmen (minimale Variante) stets Vorteile für Erdgas aufzeigen.

Mit sich verringernden Energiemengen (erhöhter Wärmeschutz) ergibt sich von der Energieseite ein positiver Trend für Erdgas, während die Vollkostenbetrachtung noch stärker zugunsten des Nachtstroms spricht.

#### 6.2.4.2.3 Preisvarianten für mittleren Haustyp

Durch Reduzierung der Einflußfaktoren auf die Variation der Erdgaspreise erhält man die in Bild 6.31 charakterisierte Verengung der Bandbreiten (Kurven 1). Der Vergleich der Preisvarianten mit den extremen Varianten macht den enormen Einfluß der Erdgaspreisspreizung im untersuchten Versorgungsgebiet deutlich.



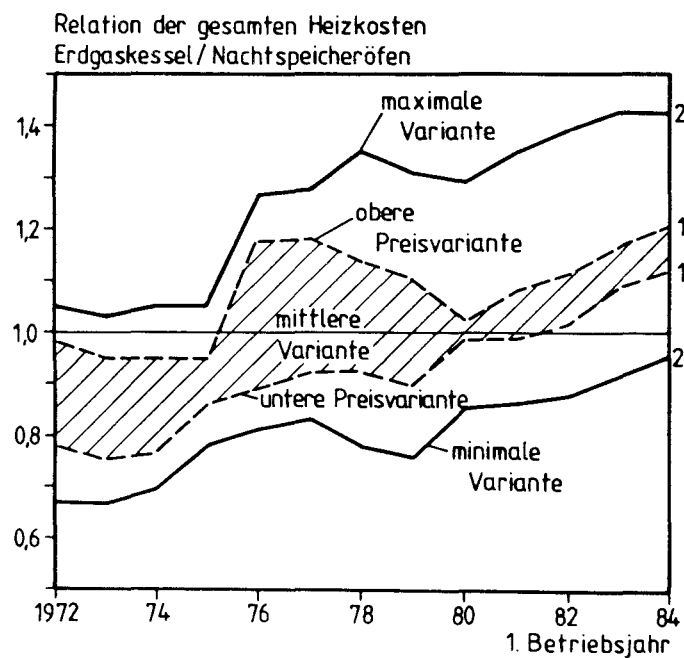
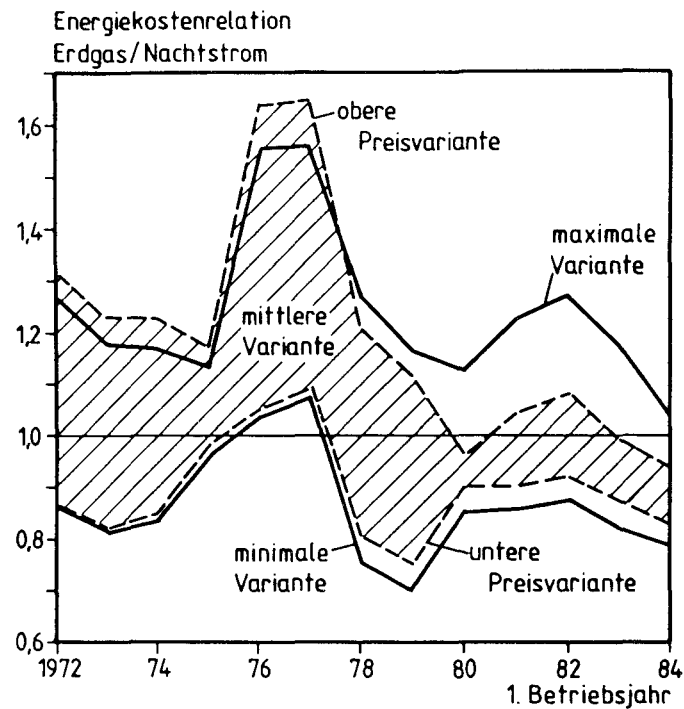


Bild 6.31: Entwicklung der Kostenrelationen zwischen Erdgaskessel und Nachtspeicherofen im Neubau  
 - Energiekosten (obere Grafik)  
 - gesamte Heizkosten (untere Grafik)  
 1: Nur Erdgaspreisvariation im Einfamilienhaus (mittlere Variante)  
 2: Extreme Variation mehrerer Parameter im Ein- Zweifamilienhausbereich  
 Annahmen: Tab. 6.4

In Bild 6.32 ist der Einfluß der Erdgaspreise auf absoluter Basis transparent gemacht. Daß der Strompreis trotz hoher Nutzungsgrade erheblich den Kostenvergleich beeinflusst, macht z. B. das Jahr 1972 deutlich. Trotz Wärmedämmung und erheblich verringerter Energiemengen liegen die Energiekosten noch über dem Niveau der günstigen Erdgaspreisvariante, so daß die Gesamtkosten durch die Zusatzkosten für die Wärmedämmung deutlich über den Vollkosten der Erdgasheizung liegen und gegenüber der ungünstigen Erdgaspreisvariante lediglich Kostengleichheit auf Vollkostenbasis erreicht wird. Nach Fortfall der zusätzlichen Wärmeschutzmaßnahmen ergibt sich 1978 für Nachtstrom von der Energiekostenseite eine ähnliche Situation, weil Nachtstrom dem Ölpreis weniger folgte als Erdgas. Danach verteuerte sich Nachtstrom, während der Erdgaspreis stagnierte. Die Stromverteuerungstendenzen werden jedoch überkompensiert durch die günstige kostenmäßige Anpassung der Nachtspeicheröfen an kleine Heizleistungen (1984).

Die detaillierte Darstellung der Heizkosten und Kostenstrukturen in Bild 6.33 bezieht sich auf einen mittleren Gaspreis. Infolge der unterschiedlichen Wärmeschutzanforderungen gibt es innerhalb der Kostenstruktur keine eindeutige Entwicklung.

Die Entwicklung der kritischen (anlegbaren) Werte für Preise und Kosten auf Vollkostenbasis ist in den Bildern 6.34 und 6.35 dargestellt.

Der anlegbare Gaspreis verläuft über einen weiten Bereich des Betrachtungszeitraumes zwischen beiden Gaspreisvarianten, erst durch die erneute starke Veränderung des Heizleistungsniveaus (ab 1983) ist die Anlegbarkeit in keinem Fall mehr gegeben (Bild 6.34).

Die anlegbaren Kosten sind wiederum sowohl aus statischer als auch aus dynamischer Sicht betrachtet worden, nachvollzogen wurde die dynamische Preisentwicklung im Betrachtungszeitraum (ex-post Preisdynamik). Die statischen Berechnungen korrespondieren mit den Aussagen des anlegbaren Preises.

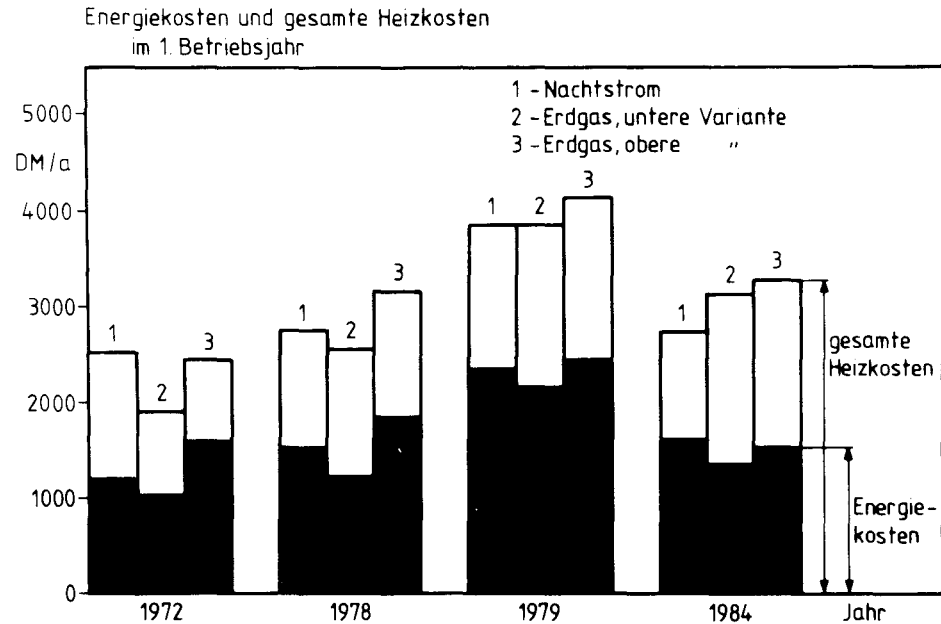


Bild 6.32: Vergleich der Energiekosten und der gesamten Heizkosten zwischen Erdgaskessel und Nachtstromspeicheröfen für ausgewählte Jahre (mittlere Variante)  
Anm.: 1978 und 1984 geändertes Wärmeschutzniveau

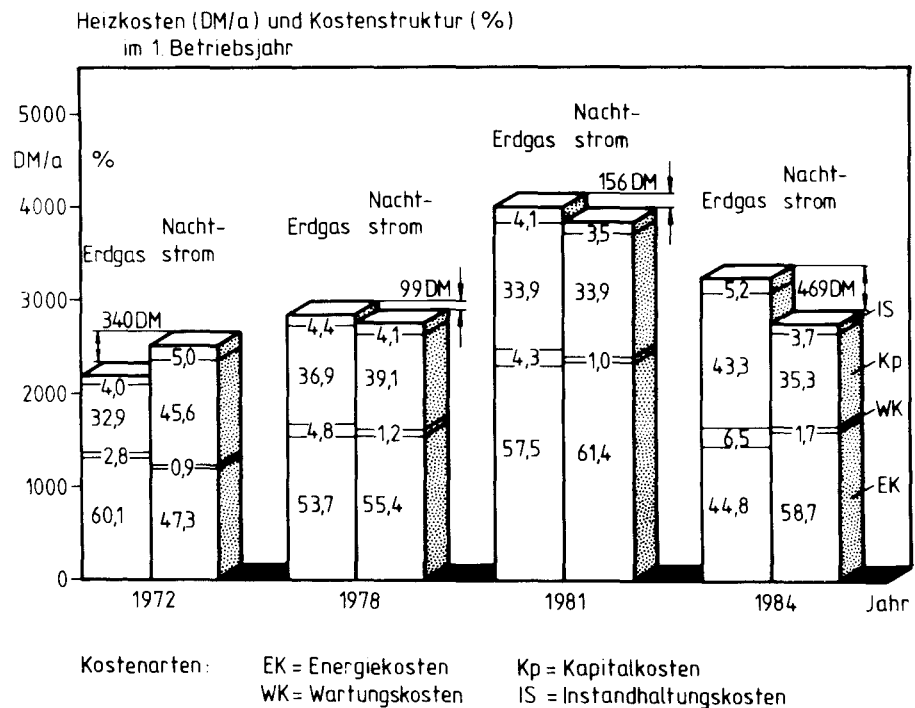


Bild 6.33: Vergleich der absoluten Heizkosten und Kostenstrukturen zwischen Erdgaskessel und Nachtspeicheröfen für ausgewählte Jahre (mittlere Variante bei mittlerem Gaspreis)  
Anm.: 1978 und 1984 geändertes Wärmeschutzniveau  
Annahmen: Tab. 6.4

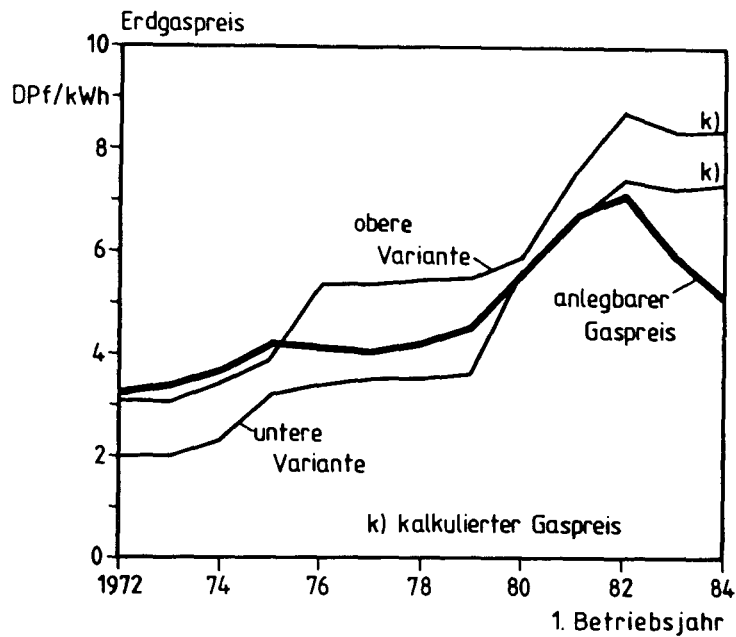


Bild 6.34: Anlegbarer und kalkulierter Erdgaspreis aus dem Heizkostenvergleich zwischen Erdgaskessel und Nachtstromspeicheröfen für ein Neubau-Einfamilienhaus

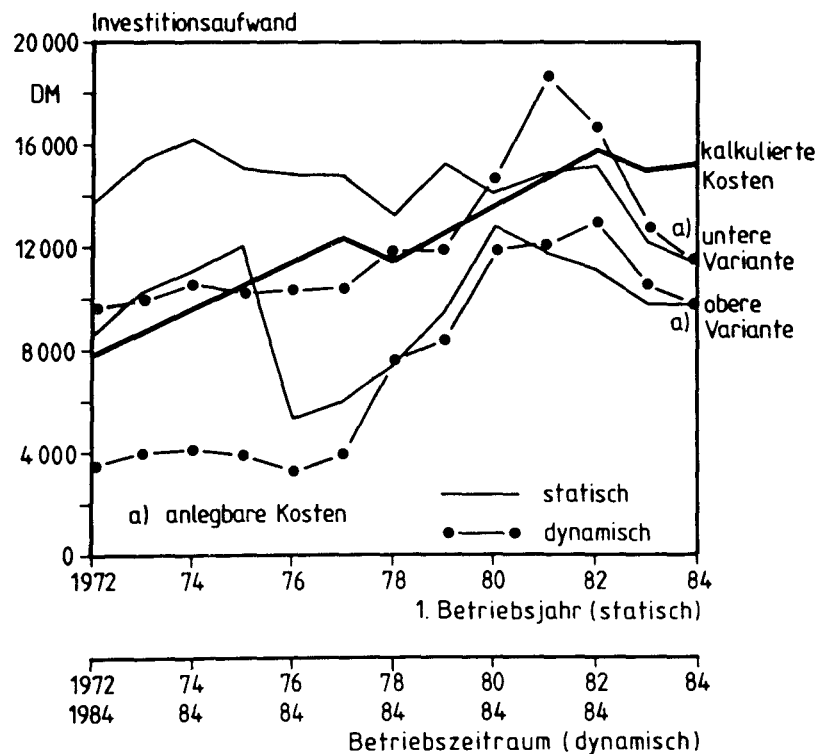


Bild 6.35: Anlegbare und kalkulierte Kosten für den Erdgaskessel aus dem Heizkostenvergleich mit Nachtstromspeicheröfen für ein Neubau-Einfamilienhaus (mittlere Variante)  
- statische und dynamische Rechnung  
- 1978, 1983, 1984 verändertes Heizleistungsniveau  
- Annahmen: Tab. 6.4

Die dynamischen Rechnungen, die lediglich ergänzenden Charakter haben, zeigen im Gegensatz zum Vergleich Erdgas - Heizöl hier eine Verschlechterung der Position des Erdgases. Eine auffallende "dynamische" Anlegbarkeit ergibt sich im Vergleich der günstigen Erdgaspreisvariante mit dem Nachtstrom, während im Fall der ungünstigen Erdgaspreisvariante die negativen Ergebnisse statischer Rechnung durch die Preisdynamik noch verstärkt werden (vor allem im Zeitraum 1972 - 1977).

Bei Einsatz beider Rechenmethoden zur Ermittlung der jährlichen Differenzkosten erhält man die in Bild 6.36 aufgeführten Ergebnisse. Geht man davon aus, daß sich der Entscheider nur nach Energiekosten richtet, so gab es bei ungünstigen Erdgaspreisen (obere Variante) bis 1983 erhebliche Vorteile für Nachtstromspeicheröfen. Auch ein Nachvollziehen der Preisentwicklung ergäbe nachträgliche Unterstützung für die getroffene Entscheidung. Im Falle der günstigen Erdgaspreisvariante (untere Variante) war im Zeitraum 1972 - 1977 nur kurzfristig (1976/77) Anlaß zur Wahl der Speicheröfen gegeben. Bei Berücksichtigung einer größeren Zahl von Betriebsjahren aus der Rückschau (dynamische Rechnung) wäre eine Entscheidung auch in diesem Fall bei Teilkostenbetrachtung sinnvoll gewesen. Nach dem veränderten Wärmeschutzniveau ab 1979 verändert sich die Situation grundlegend zugunsten des Erdgases. Nunmehr werden nahezu gleichgroße Energiemengen unterstellt, während sich gleichzeitig eine Verbesserung der Nutzungsgrade bei konventionellen Feuerungen durchzusetzen beginnt.

Bei Vollkostenrechnung ergibt sich die bereits aus den vorher abgeleiteten Kurven umgekehrte Tendenz. Zunächst waren Nachtstromspeicheröfen bei Anrechnung der Zusatzkosten für Wärmedämmung ungünstiger als Erdgasheizungen. Nach Reduzierung des Wärmeleistungsbedarfs durch die Wärmeschutzverordnung wurden die Wärmeschutzanforderungen der Elektrizitäts-Versorgungs-Unternehmen weitgehend erfüllt. Der Zwang der zusätzlichen Wärmeschutzmaßnahmen war nicht vorhanden. Dadurch entfielen ab 1977 diese Zusatzkosten. Ab 1983 macht sich zusätzlich die bessere Lei-

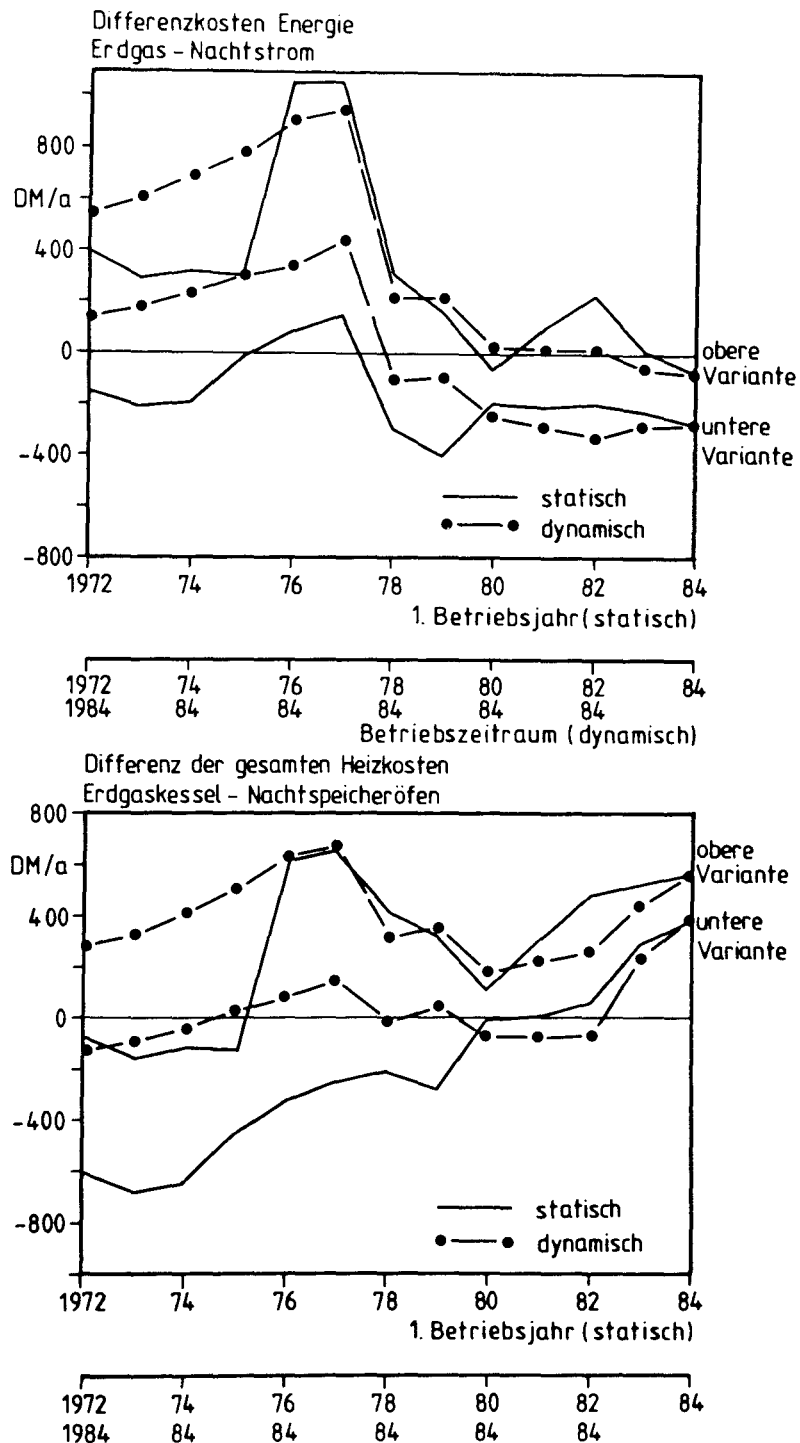


Bild 6.36: Entwicklung der Differenzkosten zwischen Erdgaskessel und Nachtstromspeicheröfen bei statischer und dynamischer Rechnung für ein Neubau-Einfamilienhaus (mittlere Variante)

- Energiekosten (obere Grafik)
- gesamte Heizkosten (untere Grafik)
- 1978, 1983, 1984 verändertes Heizleistungsniveau

Annahmen: Tab. 6.4

stungsanpassung der Nachtspeicheröfen bemerkbar, so daß trotz negativer Energiepreiseffekte bei Vollkostenrechnung die Vorteilhaftigkeit der Nachtstromspeicheröfen ständig zunimmt. Dieser Trend wird verstärkt bestätigt durch die nachträgliche dynamische Rechnung (besonders im Zeitraum 1972 - 1977).

#### 6.2.4.2.4 Verbraucherentscheidung

##### 6.2.4.2.4.1 Substitutionsbewegungen

In der Heizungsstatistik des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes wird im Hinblick auf die Wahlmöglichkeiten zwischen Energieträgern lediglich festgestellt, welche Wahlmöglichkeiten es für Verbraucher in bestimmten Versorgungssituationen gibt. Insofern ist für Stromheizungen zunächst generell eine Anschlußmöglichkeit gegeben. Aufgrund beschränkter Kapazitäten kann jedoch nur ein bestimmter Anteil Anschlußwilliger ausgewählt werden, wenn die Nachfrage größer ist als das Angebot. Die Bedingungen hängen stark von örtlichen Anschlußmöglichkeiten ab. Während Heizöl, Erdgas und Kohle in diesem Versorgungsgebiet auch tatsächlich frei gewählt werden können, gibt es diese freie Wahl für Stromheizungen nicht.

Bild 6.37 zeigt die vollzogene Wahl im Wettbewerb beider Systeme. Inwieweit für Nachtstromspeicherheizungen das bedienbare Angebot ausgeschöpft wurde, ist nicht bekannt. Der direkte Vergleich beider Systeme zeigt, daß nur Erdgas von den Ölpreiskrisen profitiert hat, während Nachtstromspeicheröfen bis 1980 statt eines Aufschwunges eine Abwärtsentwicklung durchmachen. Ab 1980 gibt es leichte Verbesserungen der Stromheizungen. Da in der Statistik des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes Stromheizungen nicht weiter differenziert werden, ist es nicht möglich, festzustellen, welchen Anteil elektrische Wärmepumpen an diesem leichten Aufschwung hatten, keinesfalls ist er jedoch allein Nachtspeicherheizungen zuzuschreiben.

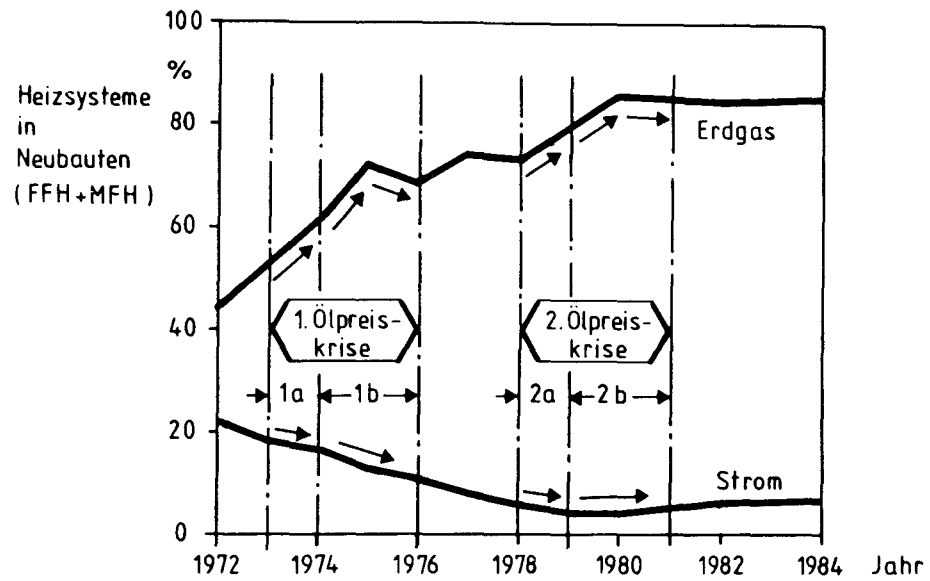


Bild 6.37: Neubaumarktanteile (Wohnungen) für Erdgas und Strom in Versorgungsgebieten mit dominierender Erdgasversorgung  
a) Vorlaufzeit      b) Reaktionszeitraum  
EFH-Einfamilienhaus      MFH-Mehrfamilienhaus

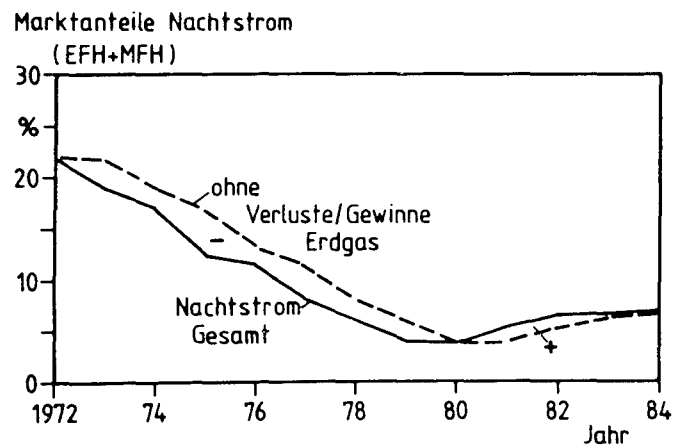


Bild 6.38: Marktanteile für Nachtstrom bei direktem Wettbewerb mit dem Erdgas



Die Substitutionsbewegungen zwischen Erdgasheizungen und Nachtspeicherheizungen sind in Bild 6.38 dargestellt. Diese Darstellung wurde um elektrische Wärmepumpen bereinigt. Nach vorliegenden jährlichen Wärmepumpeninstallationen wurde in erster Näherung eine Zuordnung auf Gebiete mit dominierender Gasversorgung in Höhe von 30 % unterstellt, während den typischen ländlichen Regionen mit dominierender Heizölversorgung 70 % zugeordnet wurden. Bis 1980 gibt es danach nur Wanderungen zur Erdgasheizung, während ab 1980 leichte Zugewinne für Nachtstromspeicheröfen zu verzeichnen sind.

#### 6.2.4.2.4.2 Verbraucherreaktion

##### a) Energiekosten

Überprüft wird zunächst die Nullhypothese  $H_0$  (kein Zusammenhang zwischen Kostenentwicklung und Verbraucherreaktion). Aufgrund sich verbessernder Kostenrelationen gewinnt Erdgas von Strom Marktanteile hinzu (s. Bild 6.39). Die Wachstumsraten des Erdgases bezogen auf diese Zugewinne nehmen von 1972 bis 1978 stark ab, da Strom insgesamt nur noch geringe Marktanteile hat. Die Zugewinne des Erdgases korrelieren mit der tendenziellen Kostenentwicklung, so daß die Nullhypothese abgelehnt werden kann.

Besonders im Rahmen der minimalen Variante war die Entscheidung für Erdgas zugleich eine ökonomisch rationale Entscheidung. Insgesamt gibt es jedoch für Strom gleichgroße Kostenvorteile im Zeitverlauf 1972 - 1984, die sich nicht durch die Marktentwicklung widerspiegeln.

Inwiefern Kapazitätsengpässe der Stromversorger diesen ökonomischen Entscheidungsprozeß überdecken, kann nicht festgestellt werden, da nicht bekannt ist, ob die Nachfrageentwicklung für Strom bereits an die Kapazitätsgrenze stößt und höhere als dargestellte Nachfrage nicht mehr bedient werden kann.

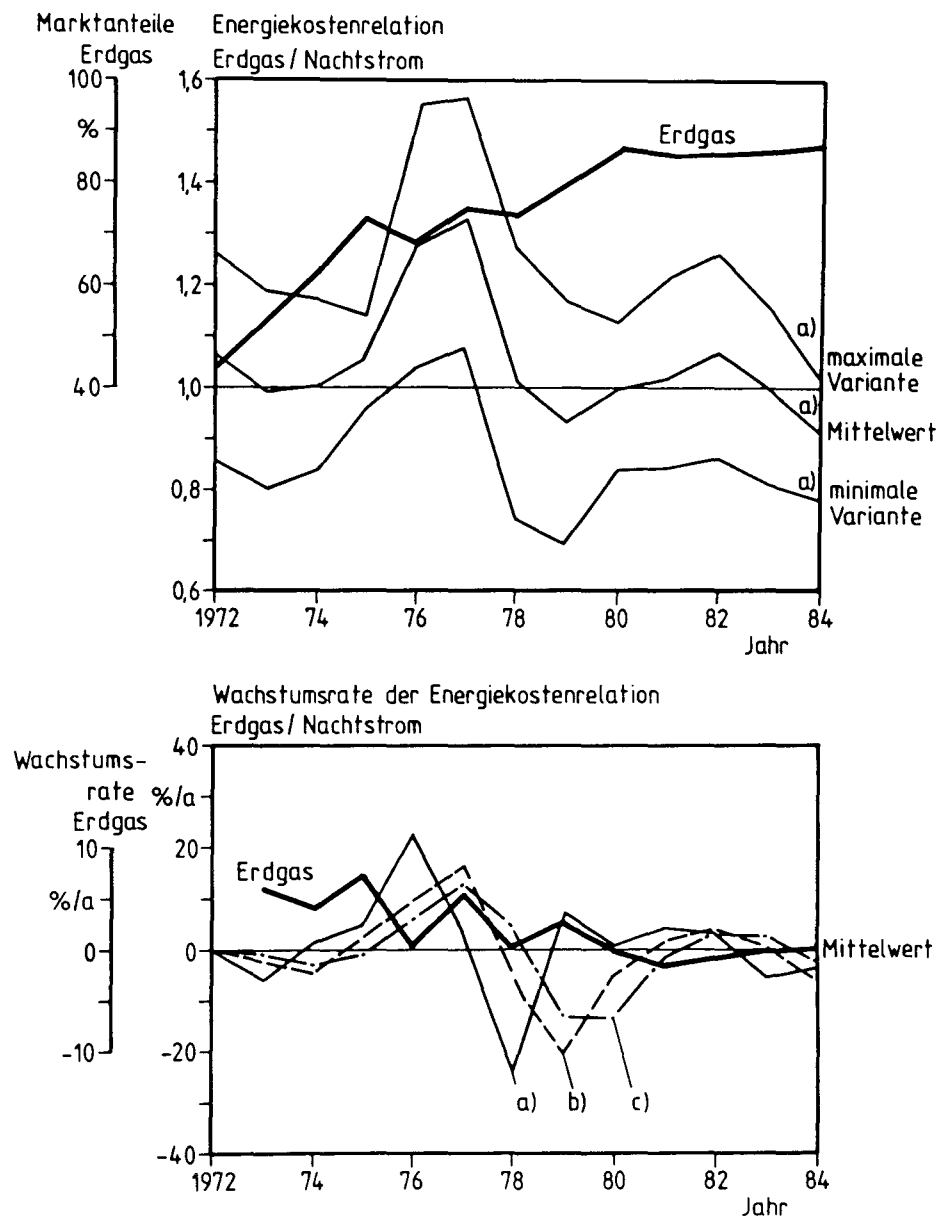


Bild 6.39: Entwicklung der Energiekostenrelationen zwischen Erdgas und Nachtstrom (obere Grafik) und Entwicklung der Wachstumsraten dieser Energiekostenrelationen (untere Grafik) sowie Entwicklung der Marktanteile des Erdgases (obere Grafik) und der Wachstumsraten des Erdgases bezogen auf die Zugewinne und Verluste zwischen beiden Systemen (untere Grafik)

- Kostenrelationen: extreme Werte und Mittelwert für Ein- und Zweifamilienhausbereich
- a) 1-Jahresmittel
- b) gewichtetes 2-Jahresmittel
- c) gewichtetes 3-Jahresmittel

Annahmen: Tab. 6.4

b) Gesamte Heizkosten

Zwischen Kostenentwicklung und Verbraucherentscheidung gibt es einen Zusammenhang, der aber atypisch ist. Während Erdgas sich kostenmäßig ständig verschlechtert, nehmen seine Marktanteile noch bis 1980 zu, wenn auch mit fallenden Wachstumsraten (s. Bild 6.40), erst ab 1980 gibt es eine geringfügige Trendwende. Schon ab 1976 ist Erdgas gegenüber dem Nachtstrom überwiegend (Mittelwert) ungünstiger.

Erdgasbefürworter haben sich nur im Rahmen der minimalen Variante rational verhalten. Diejenigen, die sich trotz der ungünstigen Bedingungen der maximalen Variante für Erdgas entscheiden, waren sich entweder über die Unvorteilhaftigkeit im Vollkostenvergleich nicht bewußt, haben infolge starker Präferenzen zum Erdgas diesen Präferenzkostennachteil hingenommen oder hatten keine Anschlußmöglichkeit an das günstigere Stromsystem.

Bild 6.41 gibt eine Übersicht über die Beeinflussung des Entscheidungsprozesses durch Unternehmen der Energiewirtschaft (Gaswirtschaft, Stromwirtschaft). Während die Gaswirtschaft über den ganzen Betrachtungszeitraum Entscheidungshilfen für Berater und Öffentlichkeit zur Verfügung stellte, liegen von der Stromwirtschaft nur für den Bereich Baden-Württemberg Heizkostenvergleiche vor /6.40, 6.42/. Als Folge der Auffüllung der Nachttäler im Versorgungsgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (RWE) stellte dieses Unternehmen seine Werbeaktivitäten für Nachtstromspeicherheizungen weitgehend ein. Die Berechnungen der Gaswirtschaft entsprechen tendenziell den eigenen Berechnungen, während die seit 1980 der internen Verwendung vorbehaltenen Heizkostenvergleiche der Stromwirtschaft Vorteile aufweisen, die noch erheblich über die für Nachtstrom günstige Situation in der oberen Erdgaspreisvariante hinausgehen. Vor allem beim anschließenden Vergleich der Energiekosten gibt es gravierende Unterschiede. Unabhängig davon, welche Rechnungen mehr der Realität entsprechen, ist für ihre Wirkung maßgeblich, daß sie beim Entscheider überhaupt ankommen. Diese Beeinflussungsmöglichkeit wird von der Stromwirtschaft nur mit äußerster Rückhaltung wahrgenommen, da die Kapazitätsprobleme keine andere Wahl lassen. Die Vorteilhaftigkeit des Nachtstroms kann von der Gaswirtschaft daher offenbar ohne Einbußen bestätigt werden.

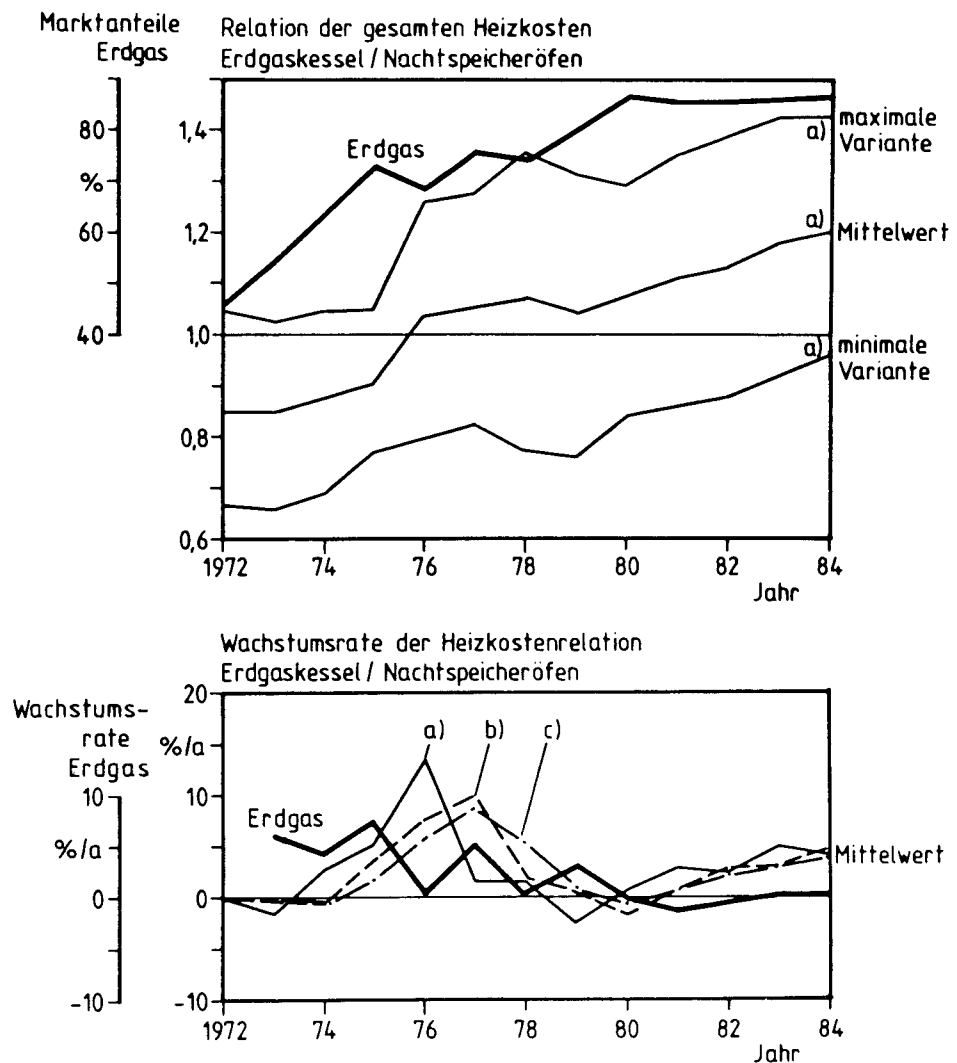


Bild 6.40: Entwicklung der Kostenrelationen (gesamte Heizkosten) zwischen Erdgaskessel und Nachtstromspeicheröfen (obere Grafik) und Entwicklung der Wachstumsraten dieser Energiekostenrelationen (untere Grafik) sowie Entwicklung der Marktanteile des Erdgases (obere Grafik) und der Wachstumsraten des Erdgases bezogen auf die Zugewinne und Verluste zwischen beiden Systemen (untere Grafik)  
 - Kostenrelationen: extreme Werte und Mittelwert für Ein- und Zweifamilienhausbereich  
 a) 1-Jahresmittel  
 b) gewichtetes 2-Jahresmittel  
 c) gewichtetes 3-Jahresmittel  
 Annahmen: Tab. 6.4

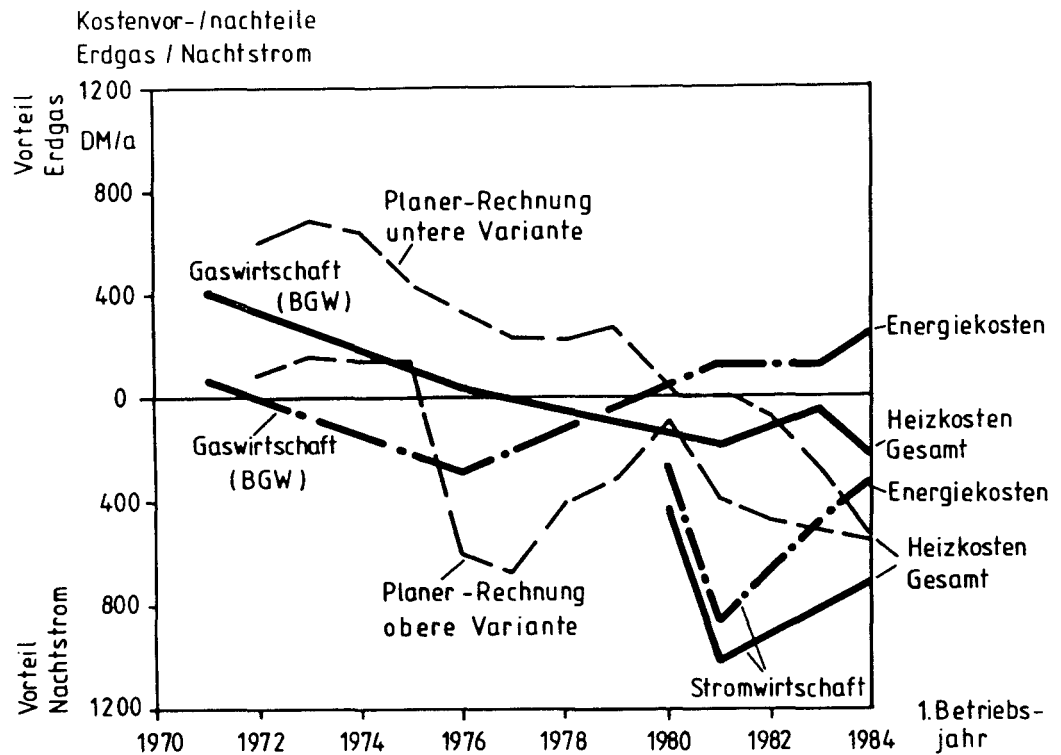


Bild 6.41: Vergleich der Heizkosten zwischen Erdgaskessel und Nachtstromspeicheröfen im Neubau-Einfamilienhaus nach Kostenvergleichen der Energiewirtschaft und eigenen Berechnungen /6.40, 6.41/ (BGW: Bundesverband der Gas- und Wasserwirtschaft)

#### 6.2.4.3 Heizkostenvergleich Erdgas-Koks

Da es in Versorgungsgebieten mit dominierender Erdgasversorgung nur noch minimalen Zuspruch für Kohleheizungen gibt, wird der Kostenvergleich Erdgas-Koks von der generellen Aussage her danach überprüft, ob hierfür ökonomische Gründe verantwortlich gemacht werden können.

#### 6.2.4.3.1 Sensitivitätsanalyse

Tab. 6.5 enthält die Annahmen der in Bild 6.41 dargestellten Sensitivitätsanalyse. Neben der Erdgaspreisvariation zeigt sich auch die Spannbreite der Kohlepreise im untersuchten Versorgungsgebiet von außerordentlicher Bedeutung. Auch der Veränderung der Investitionskosten sowie der Haustypvariation kommt erhebliche Bedeutung im Systemvergleich zu. Die restlichen Parametervariationen bilden hier kein Spektrum zur Auslotung wichtiger Einflußgrößen.

#### 6.2.4.3.2 Spannbreite der Heizkosten

Durch Zuordnung der extremen Parameterwerte beider Heizsysteme erhält man die in Bild 6.42 aufgeführten Kostenrelationen.

Der Vergleich aller Kurven zeigt den gravierenden Einfluß der extremen Kombination der Energiepreise im gesamten Versorgungsgebiet. So treffen ungünstige Erdgaspreise auf günstige Kohlepreise und ungünstige Kohlepreise auf günstige Erdgaspreise.

Im Betrachtungszeitraum (bis 1981) war sowohl bei Berücksichtigung der Energiekosten als auch beim Vollkostenvergleich eine Entscheidung für Erdgas rational. Obwohl diese Handlungsempfehlung fast robust für Erdgas war, gab es in Regionen mit günstigen Kohlepreisen über weite Zeiträume zumindest Kostengleichheit oder geringe Vorteile für Koksheizungen (Vollkosten). Diese monetären Vorteile sind jedoch zu gering, als das sie die großen Nachteile der Kohle (Handhabung, Bequemlichkeit, Schmutz, Umwelt) ausgleichen könnten (s. Bilder 5.61 - 5.62).

					Basiswert (Mittlere Variante)		Variation				Minimale Variante		Maximale Variante	
					Erdgas	Koks	Nr.	Erdgas	Nr.	Koks	Erd- gas	Koks	Erd- gas	Koks
					5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
					4.45	5.26	1	+/- .94	3	+/- .53				
					7.87	7.78	2	+/- .52	4	+/- .82				
					0.73	0.67								
					0.79	0.71	5	0.82	5	0.73				
					1		6	2			1			
							7							
					125	79	8	+/- 10%	10	+/- 10%	90 %	110 %	110 %	90 %
					212	118	9		11					
					12406	13303	12	+/- 5%	14	+/- 5%	95 %	105 %	105 %	95 %
					15264	15016	13		15					
					8		16	+/- 2			8		8	
							17							
					140		18	100	20	190	190		100	
							19		21					
Heizkostendifferenz														
					- 670.3		Vergleichs- systeme			Erdgas = Erdgaskessel				
					- 27.0					Koks = Koksessel				

Parameter	Symbol	Einheit	Jahr
1	2	3	4
Energiekosten	EK		
Energiepreis	p	DPf/kWh	1977
			1984
Nutzungsgrad	η	-	1977
			1984
Klimazone	Z	-	1977
			1984
Vollbenutzungs- stunden	b <sub>v</sub>	h/a	1977
			1984
Wartungskosten	WK	DM/a	1977
			1984
Kapitalkosten	KP		
Investition	I <sub>v</sub>	DM	1977
			1984
Zins	ZS	%	1977
			1984
Steuer/ Subventionen	ST	%	1977
			1984
Haus typ	HT		
Wohnfläche	WF	m <sup>2</sup>	1977
			1984
Heizkostendifferenz			
Erdgas - Koks	DK	DM/a	1977
			1984

Tab. 6.5: Parametervariation für Heizkostenvergleich Erdgas - Koks

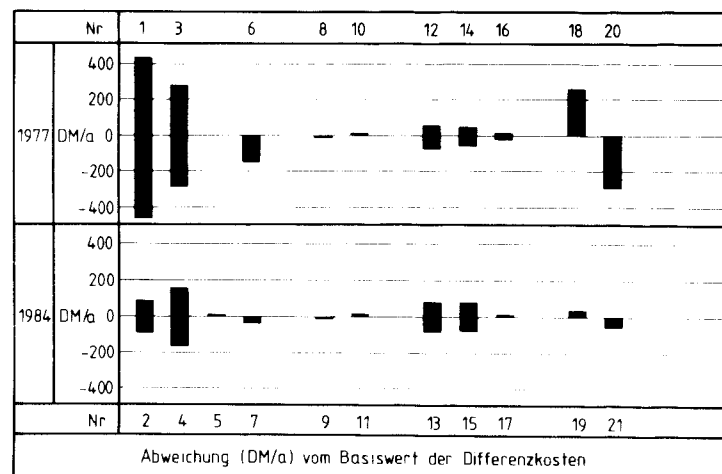


Bild 6.41: Sensitivität der Parametervariation beim Heizkostenvergleich Erdgas - Koks

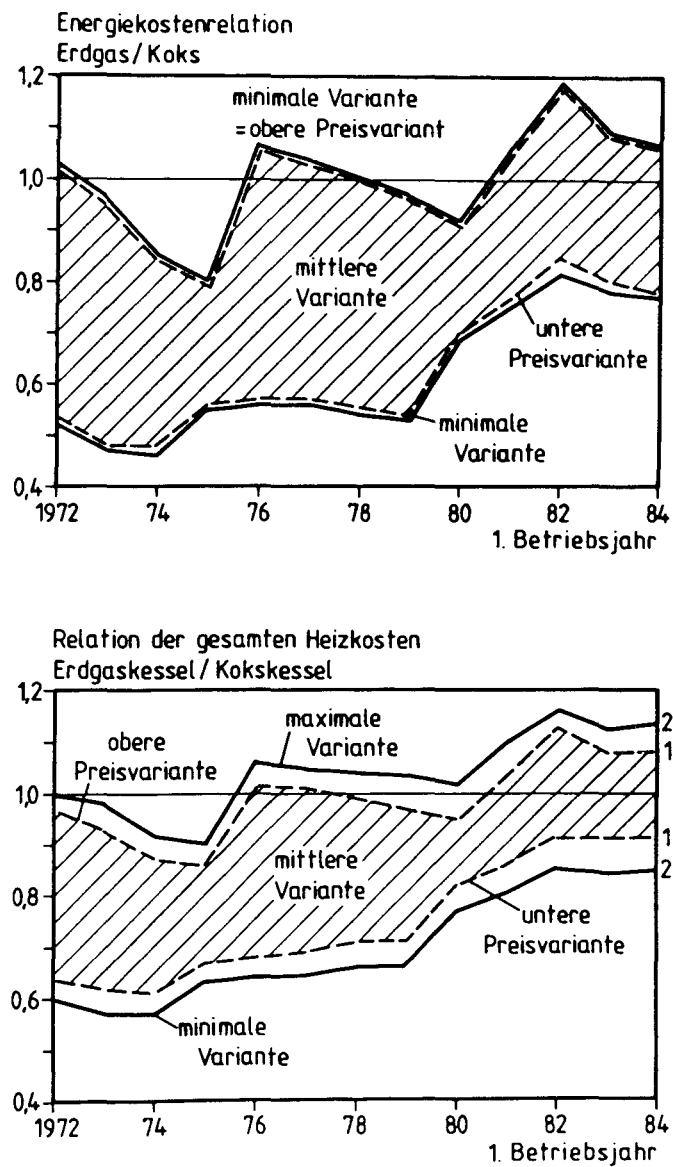


Bild 6.42: Entwicklung extremer Kostenrelationen zwischen Erdgas- u. Kokskessel im Ein-, Zweifamilienhausbereich (Neubau)

- Energiekosten (obere Grafik)
- gesamte Heizkosten (untere Grafik)

1: nur Preisvariation für Einfamilienhaus (mittlere Variante)

2: extreme Variation mehrerer Parameter im Ein-, Zweifamilienhausbereich

Annahmen: Tab. 6.5



### 6.2.5 Versorgungsgebiete mit dominierender Heizölversorgung

Dort wo die leitungsgebundenen Energieträger Fernwärme und Erdgas nicht angeboten werden, entschied sich der Verbraucher bzw. Planer vorrangig für Heizöl. Als relevante Wettbewerber können hier auch Stromheizungen betrachtet werden, Kohle und auch Flüssiggas haben dagegen nur geringe Marktanteile erreichen können (vgl. Bild 6.8).

In diesem Versorgungsgebiet haben Wärmepumpen deutlich zur Verbesserung der Marktanteile der Stromheizungen nach 1978 beigetragen. Es ist deshalb innerhalb der Stromheizungen zwischen konventionellen elektrischen Heizungen und Wärmepumpen zu unterscheiden.

Zunächst werden die Vergleiche konventioneller Heizsysteme mit dem Marktführer Heizöl dargestellt. Die Intensität dieser Vergleiche orientiert sich an der Bedeutung der einzelnen Energieträger. Anschließend wird der Vergleich der elektrischen Wärmepumpen mit dem Ölkessel erarbeitet.

#### 6.2.5.1 Heizkostenvergleich Nachtstrom - Heizöl

##### 6.2.5.1.1 Sensitivitätsanalyse

Den stärksten Einfluß auf die Differenzkosten zwischen Nachtspeicheröfen und dem Ölkessel hat die Haustypvariation, gefolgt von der Variation der Vollbenutzungsstunden. Dagegen ist der Einfluß der Energiepreise im betrachteten Versorgungsgebiet von geringerer Bedeutung (vgl. Tab. 6.6 und Bild 6.43).

##### 6.2.5.1.2 Spannbreite der Heizkosten

Bild 6.44 zeigt das Spektrum der Heizkosten für den Vergleich Nachtstrom - Heizöl. Während die Relationen der Energiekosten bis 1978 für alle Haustypen jeweils für den oberen und unteren Wert nahezu identisch sind, gibt es ab 1978 Verschiebungen

Parameter	Symbol	Einheit	Jahr	Basiswert (Mittlere Variante)						Variation				Minimale Variante		Maximale Variante	
				Strom	Öl	Nr.	Strom	Nr.	Öl	Strom	Öl	Strom	Öl	Strom	Öl	Strom	Öl
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		11	12	13	14		
Energiekosten	EK																
1	Energiepreis	p	DPf/kWh	1977	6.4	2.99			1	+/- .03		p	p <sub>max</sub>	p	p <sub>min</sub>		
2			1984		11.5	7.52			2	+/- .30							
3	Nutzungsgrad	η	-	1977	0.98	0.72						η	η <sub>min</sub>	η	η <sub>max</sub>		
4			1984		1.0	0.78			3	0.80							
5	Klimazone	Z	-	1977	1		4	2				1					
6			1984				5										
7	Vollbenutzungs- stunden	b <sub>v</sub>	h/a	1977	1600	1700	6	+/- 100				b <sub>vmin</sub>	b <sub>v</sub>	b <sub>vmax</sub>	b <sub>v</sub>		
8			1984		1750	1850	7										
9	Wartungskosten	WK	DM/a	1977	28	255	8	+/- 10%	10	+/- 10%		90	110	110	90		
10			1984		40	360	9		11								
	Kapitalkosten	KP															
11	Investition	I <sub>v</sub>	DM	1977	17016	17251	12	+/- 5%	14	+/- 5%		95	105	105	95		
12			1984		10207	18392	13		15								
13	Zins	ZS	%	1977	8		16	+/- 2				8		8			
14			1984				17										
15	Steuer/ Subventionen	ST	%	1977													
16			1984														
	Haustyp	HT															
17	Wohnfläche	WF	m <sup>2</sup>	1977	140		18	100	20	190		100		190			
18			1984				19		21								
Heizkostendifferenz																	
19	Strom - Öl	DK	DM/a	1977	- 256.3		Vergleichs- systeme				Strom = Nachtstrom- speicheröfen						
20			1984		- 1053.7						Öl = Heizölkessel						

Tab. 6.6: Parametervariation für Heizkostenvergleich  
Nachtstrom - Heizöl

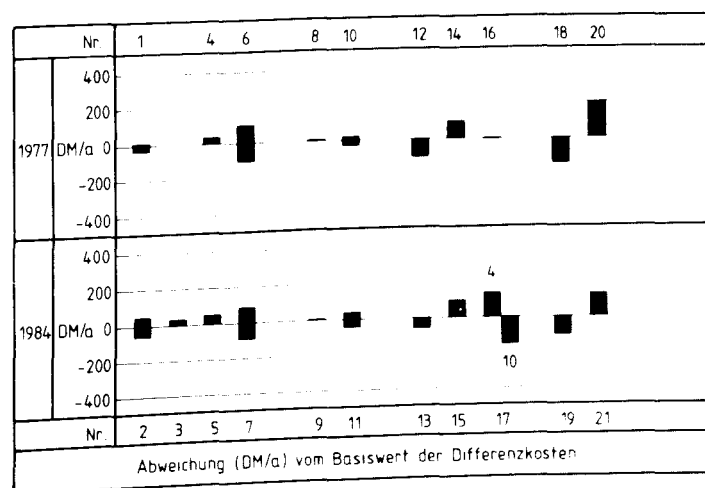


Bild 6.43: Sensitivität der Parametervariation beim  
Heizkostenvergleich Nachtstrom - Heizöl

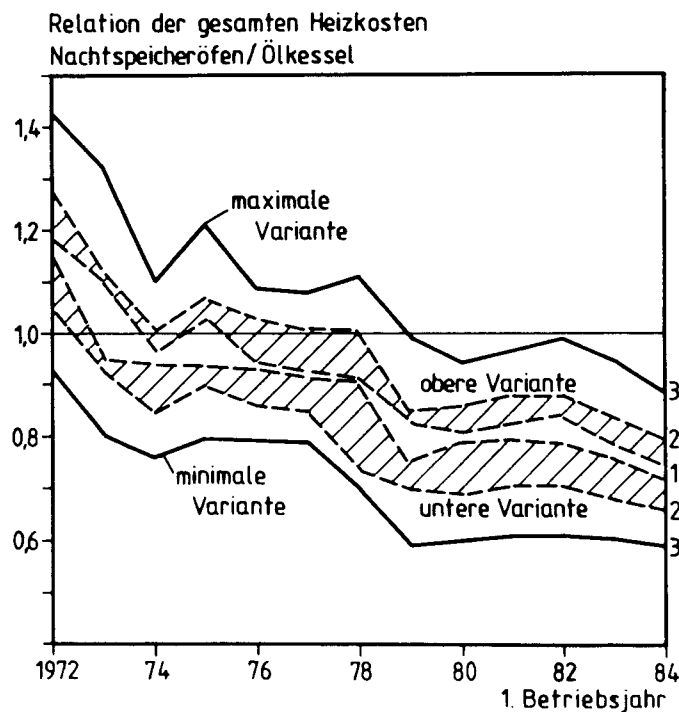
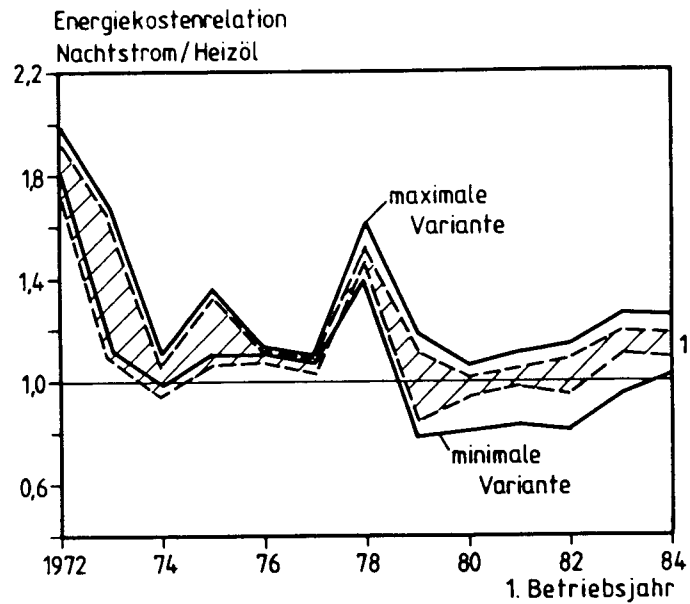


Bild 6.44: Entwicklung der Kostenrelationen zwischen Nachtspeicheröfen und Ölkessel im Ein-, Zweifamilienhausbereich (Neubau)

- Energiekosten (obere Grafik)
- gesamte Heizkosten (untere Grafik)
- 1: nur Preisvariation für Einfamilienhaus (mittlere Variante)
- 2: extreme Variation mehrerer Parameter (Einfamilienhaus)
- 3: extreme Variation mehrerer Parameter im Ein-, Zweifamilienhausbereich

Annahmen: Tab. 6.6

innerhalb dieser Relationen. Der obere Wert des Einfamilienhauses liegt nun z. B. tiefer als der maximale Wert im gesamten Ein- und Zweifamilienhausbereich. Am Beispiel des mittleren Einfamilienhauses wurde der Einfluß der Energiepreise auf diesen Heizkostenvergleich deutlich gemacht. In Bild 6.44 (untere Grafik) geben die Kurvenzüge 1 (gestrichelt) den Einfluß der Preisvariation innerhalb der gesamten Spannbreite wieder.

Werden für den mittleren Haustyp alle Parameter wie im gesamten Ein- und Zweifamilienhausbereich verändert, so erhält man die Linien 2. Durch zusätzliche Variation des Haustyps ergeben sich die Grenzwerte der Spannbreiten (Kurven 3).

Der Einfluß der Energiepreisvariation ist also gering gegenüber der Variation aller Parameter, von besonderer Bedeutung in diesem Falle ist jedoch die Veränderung des Haustyps.

Die Entwicklung der Energiekostenrelationen weist in Bild 6.44 bis 1979 eine stabile Vorteilhaftigkeit für Heizöl auf, erst nach der zweiten Ölpreiskrise konnte sich Nachtstrom gegenüber Heizöl verbessern, entscheidende Vorteile gab es im gesamten Ein- und Zweifamilienhausbereich jedoch nicht.

Die Betrachtung der Vollkosten ergibt für den Zeitraum 1972 - 1978, als Zusatzkosten für verbesserten Wärmeschutz anfielen, sowohl deutliche Vor- als auch Nachteile für Nachtspeicheröfen. Erst durch den Wegfall der Zusatzkosten und durch die Verbesserung der Preisrelationen ist die Nachtstromspeicherheizung gegenüber dem Ölkessel im ganzen Bereich kostengünstiger.

Für den mittleren Haustyp ist in Bild 6.45 der Einfluß der Kostenvariation auf absoluter Basis wiedergegeben, während in Bild 6.46 die detaillierte Kostenstruktur zwischen den Vergleichssystemen dargestellt ist. Aus Gründen der Übersichtlichkeit bezieht dieser Vergleich nur Basiswerte ein, es wird also auf eine extreme Variation der Parameter verzichtet. Diese Ver-

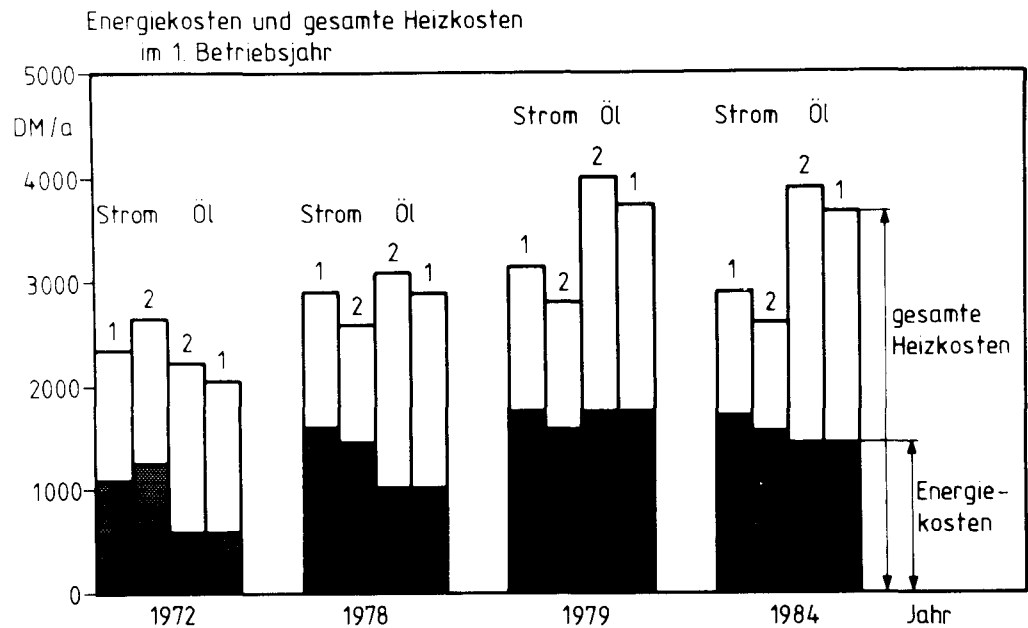


Bild 6.45: Vergleich der Energiekosten und der gesamten Heizkosten zwischen Nachstromspeicheröfen und Heizölkessel für ausgewählte Jahre (mittlere Variante) - extreme Kostenvariation ohne Preisveränderungen  
Anm.: 1978 und 1984 geändertes Wärmeschutzniveau  
Annahmen: Tab. 6.6

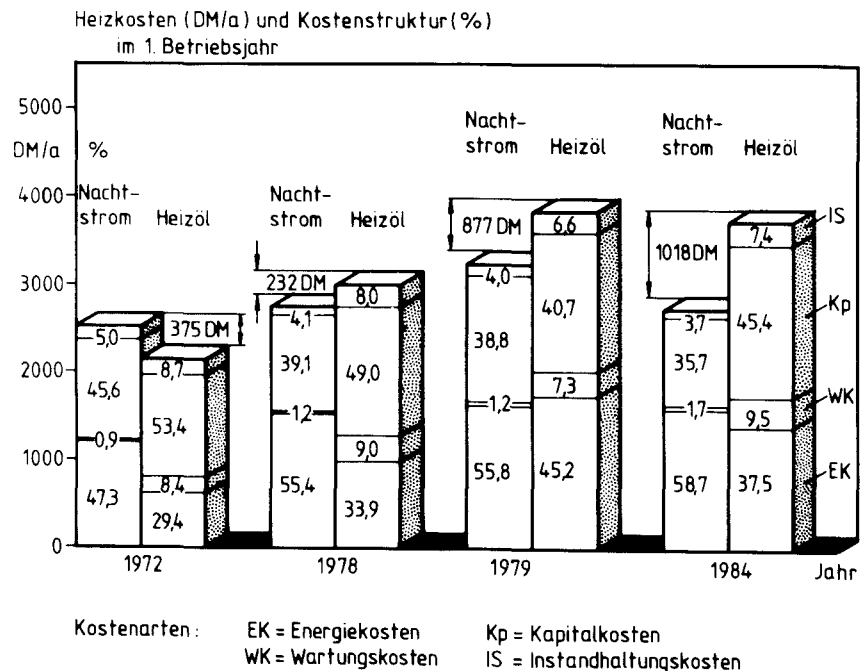


Bild 6.46: Detaillierte Kostenstruktur aus Vergleich Nachstromspeicheröfen und Heizölkessel (mittlere Variante)  
Anm.: 1978 und 1984 geändertes Wärmeschutzniveau  
Annahmen: Tab. 6.6

gleiche heben den nach wie vor hohen Energiekostenanteil der Nachtstromspeicheröfen hervor, während auf Vollkostenbasis für die elektrische Heizung nach 1978 erhebliche Vorteile erwachsen.

Errechnet man auf der Basis der dargestellten Spannbreiten (Vollkosten) anlegbare Preise, so erhält man die in Bild 6.47 dargestellten Ergebnisse. Nur für einen kurzen Zeitraum war für den hier betrachteten mittleren Haustyp (Basisfall) die Anlegbarkeit nicht gewährleistet. Dies gilt ebenfalls für den gesamten Ein- und Zweifamilienhausbereich. Von den Stromversorgern wurde vor allem ab 1979 die Anlegbarkeit bei weitem nicht ausgeschöpft. Vor diesem Zeitpunkt ergibt sich eine annähernde Korrelation zwischen anlegbarem und kalkuliertem Preis. Daraus wird ersichtlich, daß zu dieser Zeit die Stromversorger stärker von einer Wettbewerbsklausel zwischen Nachtstromspeicheröfen und dem Ölkessel ausgingen als später.

Dieser Zusammenhang wird durch die ermittelten anlegbaren Kosten bestätigt (s. Bild 6.48 - statische Rechnung). Die dynamische Rechnung, die die tatsächliche Energiepreisentwicklung nachvollzieht, ergibt eine Vorteilhaftigkeit der Speicherheizung auch im Zeitraum 1972 - 1978, als sie bei statischer Rechnung nur teilweise gegeben war. Der Verlauf der anlegbaren Kosten zeigt auch, daß lediglich im Zeitraum 1972 - 1978 die Datenunsicherheit einen Einfluß auf die Vorteilhaftigkeit eines Systems gehabt haben konnte, nach 1978 kann der robuste Vorteil der Nachtstromspeicheröfen durch Datenunsicherheit nicht mehr einschneidend reduziert werden.

Eine Einschätzung der zeitlichen Entwicklung der Differenzkosten zwischen Nachtstromspeicheröfen und dem Ölkessel ermöglicht Bild 6.49. Daraus ergibt sich die Gegenläufigkeit der Handlungsempfehlung aus statischer und dynamischer Rechnung auf der Energiekostenseite, während für Vollkosten ein höhenverschobener Gleichlauf zwischen beiden Methoden und Varianten gegeben ist.

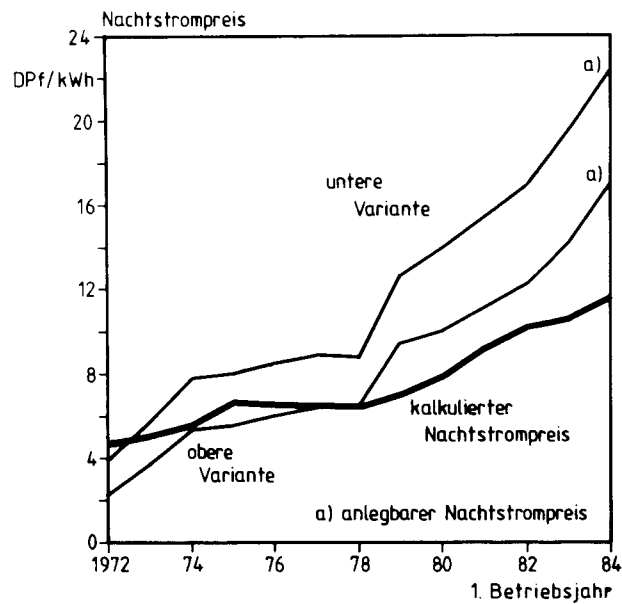


Bild 6.47: Anlegbarer und kalkulierter Nachtstrompreis aus Heizkostenvergleich Nachtstrom - Heizöl - extreme Parametervariation für mittleren Haustyp Annahmen: Tab. 6.6

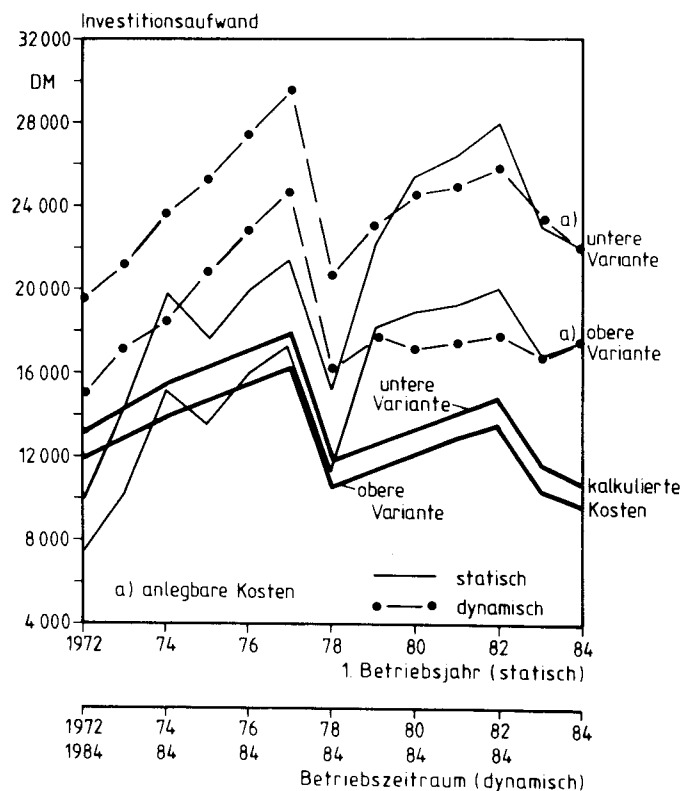


Bild 6.48: Anlegbare und kalkulierte Kosten für Nachtstromspeicheröfen aus Heizkostenvergleich mit Ölkessel - extreme Parametervariation für mittleren Haustyp - statische und dynamische Rechnung - 1978, 1983 und 1984 geändertes Heizleistungsniveau Annahmen: Tab. 6.6

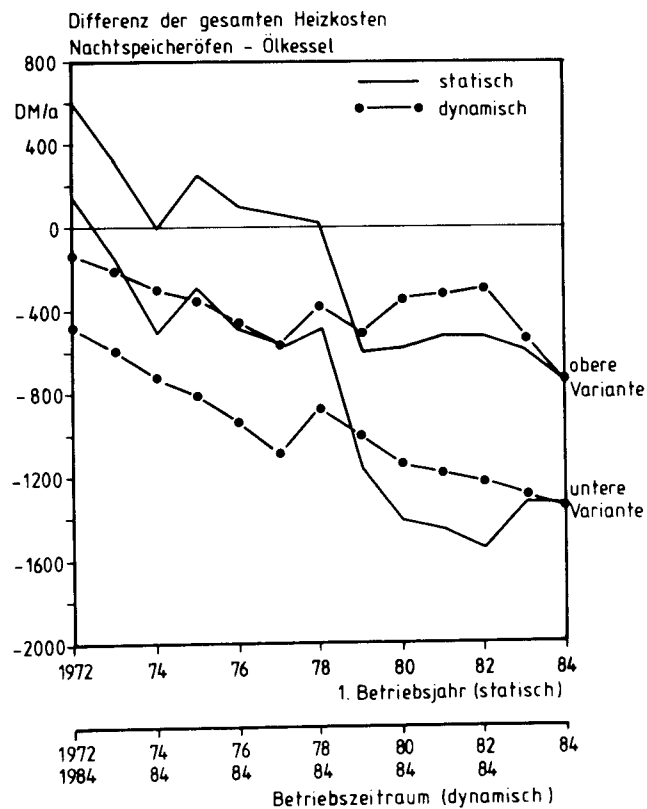
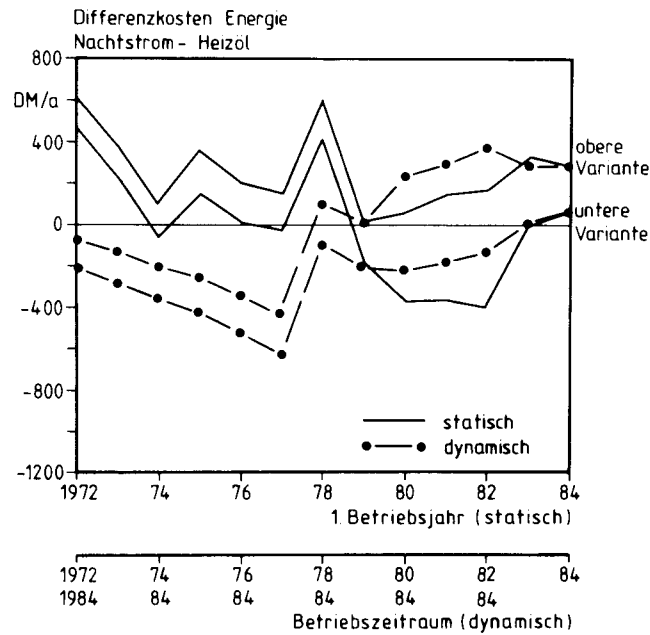


Bild 6.49: Entwicklung der Differenzkosten zwischen Nachtstromspeicheröfen und Ölkessel bei statischer und dynamischer Rechnung für ein Neubau-Einfamilienhaus

- extreme Parametervariation für mittleren Haustyp
- Energiekosten (obere Grafik)
- gesamte Heizkosten (untere Grafik)

Annahmen: Tab. 6.6



### 6.2.5.1.3 Verbraucherentscheidung

#### 6.2.5.1.3.1 Substitutionsbewegungen

Die Entwicklung der Marktanteile für Ölheizungen und Nachtstromspeicheröfen wird in den Bildern 6.50 und 6.51 charakterisiert. Vier Phasen kennzeichnen die Wettbewerbsbeziehungen zwischen beiden Systemen. Zwischen 1972 und 1975 gab es eine Phase der Verluste der Nachtstromspeicherheizungen an Heizöl. Nach der ersten Ölpreiskrise stagnierten die Wanderungsbewegungen (2. Phase), während die dritte Phase nach der zweiten Ölpreiskrise zu Gewinnen für die Nachtstromspeicherheizung führte. Als vierter Zeitraum zeichnet sich wiederum eine Phase der Verluste für Speicherheizungen ab (nach 1982).

#### 6.2.5.1.3.2 Verbraucherreaktion

##### a) Energiekosten

Die vier Phasen der Substitutionsbewegungen zwischen Nachtstromspeicherheizungen und Ölkesseln lassen sich weitgehend auch der Kostenentwicklung zuordnen, so daß die Nullhypothese (kein Zusammenhang zwischen Kostenentwicklung und Verbraucherentscheidung) verworfen werden kann (vgl. Bild 6.52). Die Entwicklung in der Phase 1 (1972 - 1973) ist als typische Reaktion einzustufen. Mit Rückgang der Kostenvorteile verliert das Heizöl an Wachstum. Diese Entwicklung ist zugleich Ergebnis der restriktiven Anschlußpolitik des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes als Folge der erstmals aufgetretenen nächtlichen Kapazitätsengpässe.

Die Stagnationsphase zwischen beiden Systemen (1974 - 1979) kann als Ergebnis der beruhigten Preise in diesem Zeitraum angesehen werden. Von der Energiekostenseite war in beiden Phasen eine Entscheidung für Speicherheizungen rational nicht zu begründen. Dies ist erstmals der Fall in der Phase 3 nach

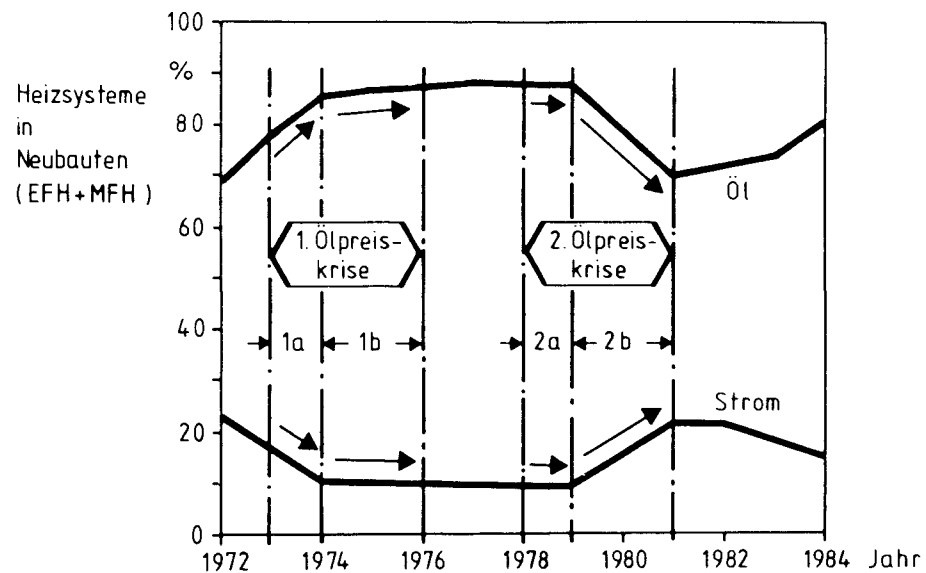


Bild 6.50: Neubaumarktanteile (Wohnungen) für Öl- und Stromheizungen in Versorgungsgebieten mit dominierender Heizölversorgung  
a) Vorlaufzeit b) Reaktionszeitraum  
EFH - Einfamilienhaus  
MFH - Mehrfamilienhaus

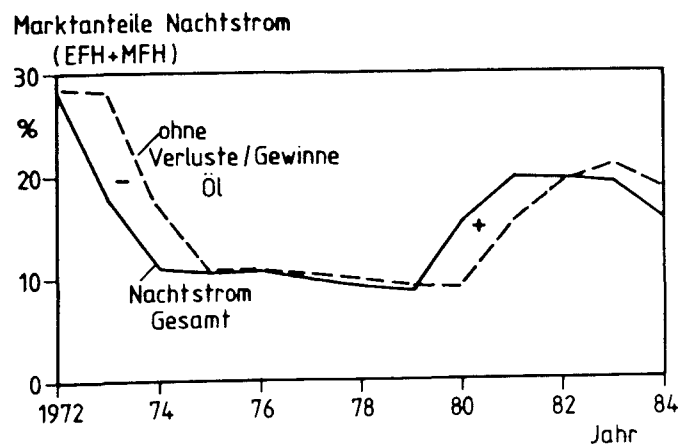


Bild 6.51: Marktanteile für Nachtstrom bei direktem Wettbewerb mit dem Heizöl

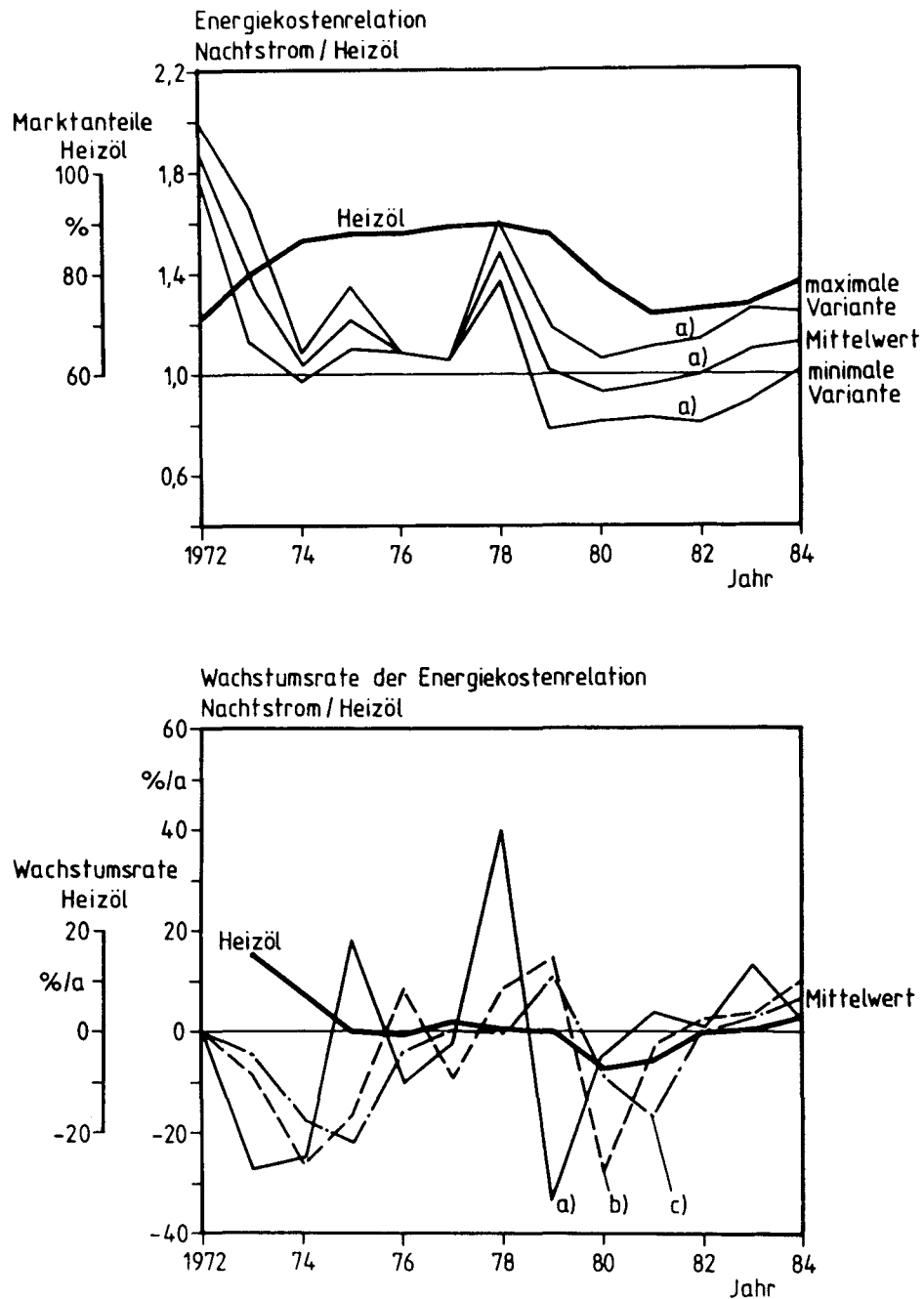


Bild 6.52: Entwicklung der Energiekostenrelationen zwischen Nachtstrom und Heizöl (obere Grafik) und Entwicklung der Wachstumsraten dieser Energiekostenrelationen (untere Grafik) sowie Entwicklung der Marktanteile des Heizöls (obere Grafik) und der Wachstumsraten des Heizöls bezogen auf die Zugewinne und Verluste zwischen beiden Systemen (untere Grafik) - Kostenrelationen: extreme Werte und Mittelwert für Ein-, Zweifamilienhausbereich  
 a) 1-Jahresmittel  
 b) gewichtetes 2-Jahresmittel  
 c) gewichtetes 3-Jahresmittel  
 Annahmen: Tab. 6.6

der zweiten Ölpreiskrise, wie auch die Reaktion der Verbraucher bzw. der Wachstumsraten der Kostenrelationen zeigt (Bild 6.52 - untere Grafik). Auch der Gegentrend (Phase 4) läßt sich durch Verschlechterung der Kostenrelationen ökonomisch begründen (1982 - 1984).

Wenn man unterstellt, daß der Verbraucher nach Preiserwartungsgesichtspunkten entschieden hat, so wäre zu erwarten, daß es im Zeitraum nach der ersten Ölpreiskrise eine deutliche Aufwärtsentwicklung für Nachtspeicherheizungen hätte geben müssen. Ob eine derartige Reaktion überhaupt möglich war, kann nicht festgestellt werden, da nicht bekannt ist, in welchem Maße das bedienbare Angebot ausgeschöpft wurde.

#### b) Gesamte Heizkosten

Die Betrachtung der Energiekosten hat den Vorteil der Ölheizung gegenüber den Speicheröfen über weite Bereiche des Betrachtungszeitraumes hervorgehoben. Es ist deshalb anzunehmen, daß Verbraucher und Planer häufig mehr oder weniger detailliert einen Vollkostenvergleich erstellten, um zu überprüfen, ob so der bekanntermaßen als teuer empfundene Strom sich vorteilhafter darstellt. Von der Vollkostenseite ergeben sich auch im Zeitverlauf erheblich anwachsende Vorteile der Speicherheizung. Diesem Trend folgen mit einer Zeitverzögerung die abnehmenden Zuwachsraten der Ölheizung bzw. der Verluste der Ölheizung an die Nachtspeicherheizungen (s. Bild 6.53).

Als mögliche Folge des Rückgangs der Vollkostenrelation zwischen Nachtstrom und Heizöl wird der Zuwachs der Ölheizungen abgebremst (1972 - 1974). Eine Entscheidung für Speicherheizungen war jedoch nur in der minimalen Variante rational zu begründen. In der Phase der Entspannung (1975 - 1979) verbesserten sich Nachtstromspeicherheizungen weiterhin, auf breiter Basis ist die Entscheidung für dieses System weitgehend als ökonomisch zu bewerten. Als Ergebnis der zweiten Ölpreiskrise ergibt sich die Trendwende zwischen beiden Systemen. Sie kann sowohl eine Preiserwartungsreaktion, der Trend zu erhöhter Versorgungssicherheit als auch eine rational zu begründende Entscheidung der Verbraucher gewesen sein.

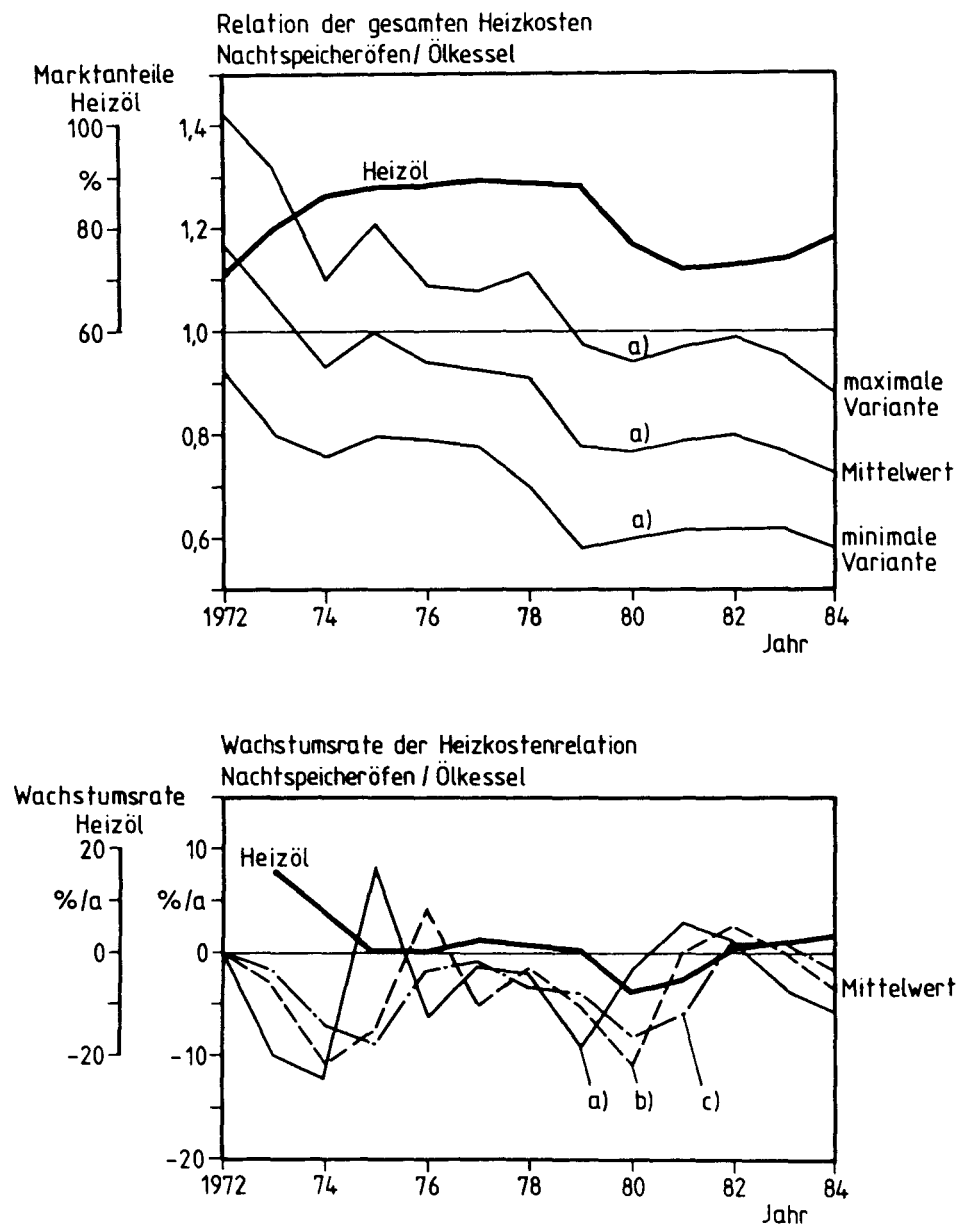


Bild 6.53: Entwicklung extremer Kostenrelationen (gesamte Heizkosten) zwischen Nachtspeicherspeicheröfen und Ölkessel (obere Grafik) und Entwicklung der Wachstumsraten dieser Kostenrelationen (untere Grafik) sowie Entwicklung der Marktanteile des Heizöls (obere Grafik) und der Wachstumsraten des Heizöls bezogen auf die Zugewinne und Verluste zwischen beiden Systemen (untere Grafik)

- Kostenrelationen: extreme Werte und Mittelwert für Ein-, Zweifamilienhausbereich
- a) 1-Jahresmittel
- b) gewichtetes 2-Jahresmittel
- c) gewichtetes 3-Jahresmittel

Annahmen: Tab. 6.6

#### 6.2.5.2 Heizkostenvergleich Koks - Heizöl

##### 6.2.5.2.1 Sensitivitätsanalyse

Von signifikanter Wirkung auf die ermittelten Differenzkosten der Vergleichssysteme ist die Variation der beobachteten Kohlepreise im untersuchten Versorgungsgebiet (Tab. 6.7 und Bild 6.54). Gleichgroße Wirkung zeigt die Haustypvariation vor Einführung der Wärmeschutzverordnung (1977), als hohe Energiemengen sich erheblich auf die Heizkosten auswirkten. Diese Wirkung hat auch die Klimazonenvariation, die wiederum nur vom Einfluß betrachtet wird, jedoch keinen Eingang in die Rechnung findet, da lediglich die Klimazone 1 als repräsentativ unterstellt werden kann. Dies gilt sinngemäß für die Zinsvariation.

##### 6.2.5.2.2 Spannbreite der Heizkosten

Im gesamten Betrachtungszeitraum waren die Energiekosten für den Koksessel gegenüber dem Ölkessel nahezu robust höher (s. Bild 6.55). Die teilweise erheblichen Energiekostennachteile ließen im Zeitraum 1972 bis 1978 auch beim Vollkostenvergleich nur in der minimalen Variante eine Vorteilhaftigkeit des Koksessels zu. Mit Einführung der Wärmeschutzverordnung, die eine Verringerung der Energiemengen mit sich brachte, sowie durch den zweiten Ölpreisschub verbesserte sich die Vollkostenrelation erheblich zugunsten des Koksessels, so daß bei rein ökonomischem Vergleich ein eindeutiger Vorteil für den Koksessel gegeben war (Bild 6.55 - untere Grafik).

Dennoch blieb der Einfluß der Energiepreise auf die ermittelte Spannbreite der Heizkosten erhalten, wie durch die Variation der Energiepreise für den mittleren Haustyp (Kurven 1) in Bild 6.55 (untere Grafik) gezeigt wird.

					Basiswert (Mittlere Variante)		Variation					Minimale Variante		Maximale Variante	
					Koks	Öl	Nr.	Koks	Nr.	Öl	Koks	Öl	Koks	Öl	
					5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
0	1	2	3	4											
	Energiekosten	EK													
1	Energiepreis	p	DPf/kWh	1977	5.26	2.99	1	+/- .53	3	+/- .03					
2				1984	7.78	7.52	2	+/- .82	4	+/- .30	P <sub>min</sub>	P <sub>max</sub>	P <sub>max</sub>	P <sub>min</sub>	
3	Nutzungsgrad	η	-	1977	0.67	0.72									
4				1984	0.71	0.78	5	0.73	5	0.80	η <sub>min</sub>	η <sub>min</sub>	η <sub>max</sub>	η <sub>max</sub>	
5	Klimazone	Z	-	1977	1		6	2							
6				1984			7			1					
7	Vollbenutzungs- stunden	b <sub>v</sub>	h/a	1977											
8				1984											
9	Wartungskosten	WK	DM/a	1977	79	255	8	+/- 10%	10	+/- 10%	90 %	110 %	110 %	90 %	
10				1984	118	360	9		11						
					13303	17251	12	+/- 5 %	14	+/- 5 %	95 %	105 %	105 %	95 %	
11	Investition	I <sub>v</sub>	DM	1977	15016	18392	13		15						
12				1984			16	+/- 2							
13	Zins	ZS	%	1977	8		17			8					
14				1984											
15	Steuer/ Subventionen	ST	%	1977											
16				1984											
17	Wohnfläche	WF	m <sup>2</sup>	1977	140		18	100	20	190	100				
18				1984			19		21		190				

Tab. 6.7: Parametervariation für Heizkostenvergleich  
Koks - Heizöl

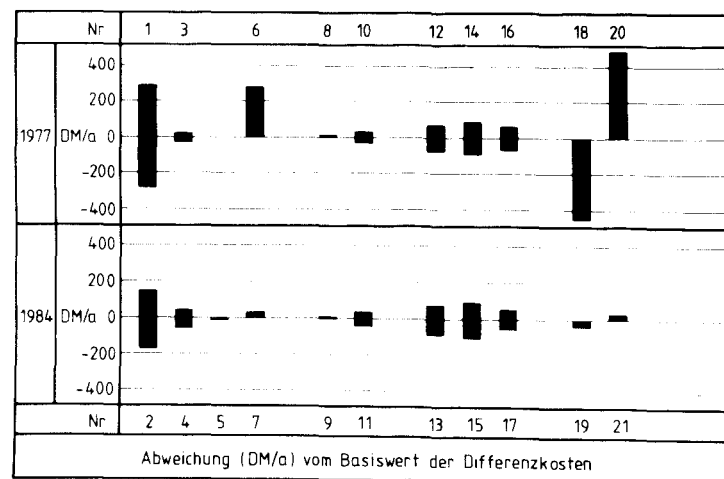


Bild 6.54: Sensitivität der Parametervariation beim  
Heizkostenvergleich Koks - Heizöl

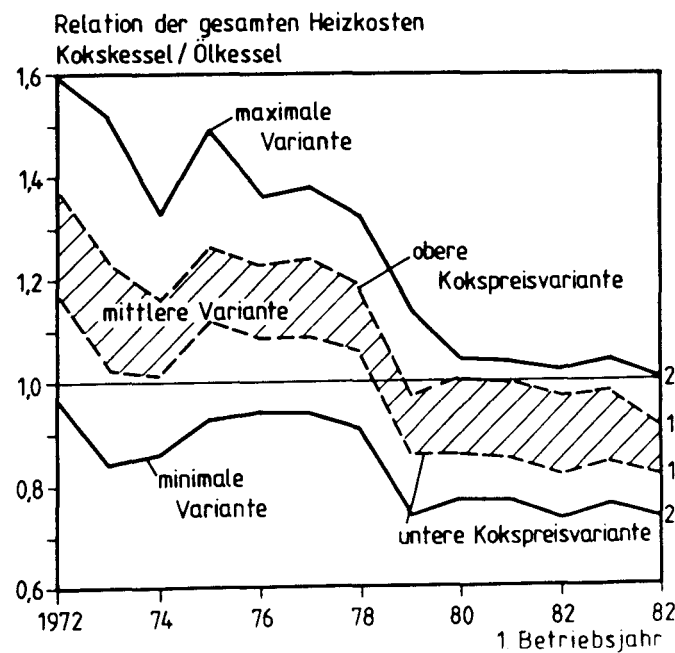
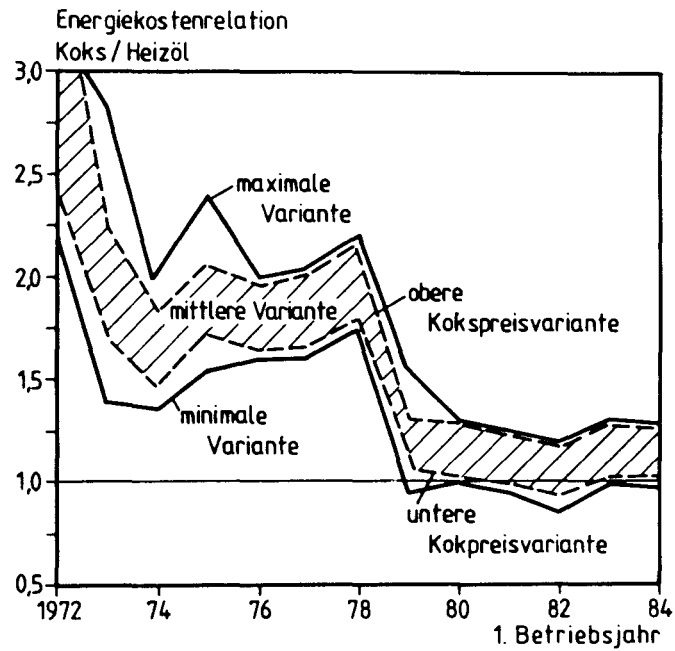


Bild 6.55: Entwicklung der Kostenrelationen zwischen Koks- und Ölkessel im Ein-, Zweifamilienhausbereich (Neubau)

- Energiekosten (obere Grafik)
- gesamte Heizkosten (untere Grafik)
- 1: nur Kokspreisvariation für mittlere Variante
- 2: extreme Variation mehrerer Parameter im Ein-, Zweifamilienhausbereich

Annahmen: Tab. 6.7



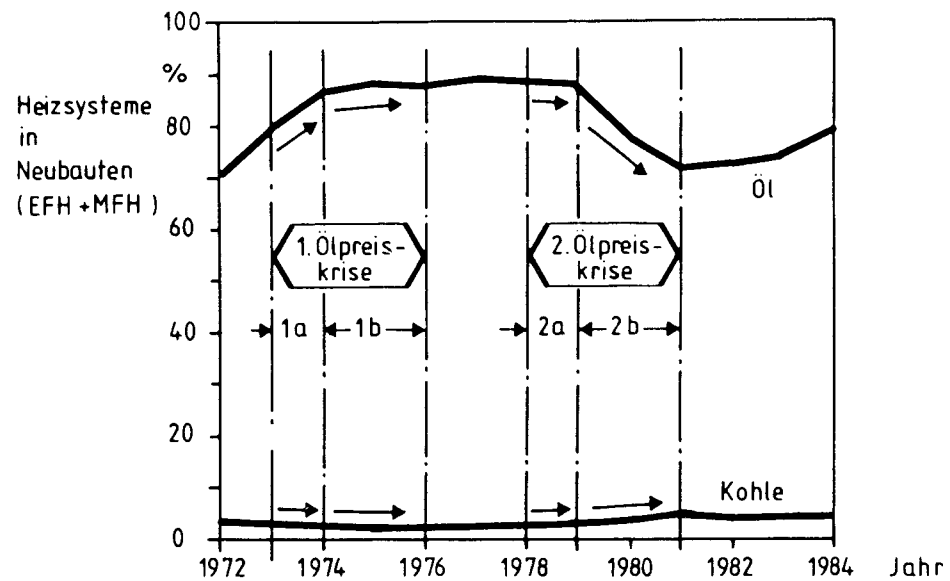


Bild 6.56: Neubaumarktanteile (Wohnungen) für Koks- und Ölkessel in Versorgungsgebieten mit dominierender Heizölversorgung  
a) Vorlaufzeit b) Reaktionszeitraum  
EFH-Einfamilienhaus MFH-Mehrfamilienhaus

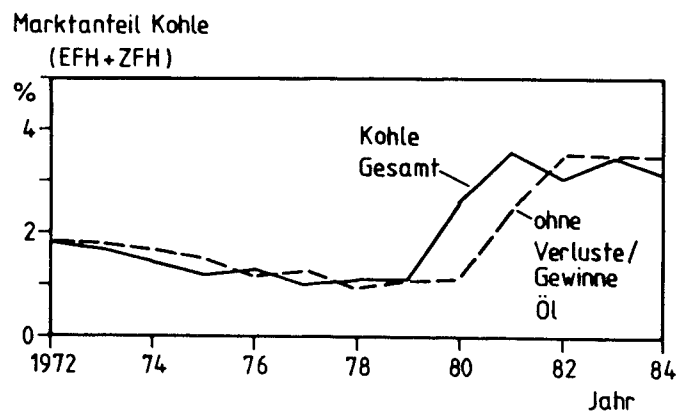


Bild 6.57: Marktanteile für Koks bei direktem Wettbewerb mit dem Heizöl

#### 6.2.5.2.3 Verbraucherentscheidung

Die Substitutionsbewegungen zwischen Koks- und Ölheizungen sind durch zwei Phasen gekennzeichnet (Bilder 6.56 und 6.57). Die erste Phase geht von 1972 bis 1978, in der es keine nennenswerten Bewegungen zwischen den Vergleichssystemen gab. In der zweiten Phase (1979 - 1982) gibt es geringe Wanderungen von der Ölheizung zur Kohleheizung.

Die fehlende Bewegung zwischen beiden Systemen im Zeitraum 1972 - 1984 kann als ökonomisch rational eingestuft werden, wenn man voraussetzt, daß der Verbraucher oder Planer sich nach Energiekosten entschieden hat. Auch bei Vollkostenbetrachtung erreicht die Kohleheizung im Zeitraum 1972 - 1978 teilweise geringe ökonomische Vorteile, die die bekannten Handhabungsnachteile der Kohle nicht annähernd kompensieren konnten. Erst mit der zweiten Ölpreiskrise erlebt die Kohleheizung einen leichten Aufschwung gegenüber dem Ölkessel. Die Entscheidung kann nach den Kriterien Energiekosten oder Preiserwartungen gefällt worden sein, sie war unter diesen Gesichtspunkten jedoch keine ökonomisch rationale Entscheidung. Nur bei Unterstellung des Kalküls Vollkosten war die Wahl für Kohleheizungen nach der zweiten Ölpreiskrise zugleich eine ökonomische empfehlenswerte Entscheidung. Nicht widerlegen läßt sich auch die Hypothese, daß die hinzugewonnenen Verbraucher sich aus Gründen der Versorgungssicherheit für den Energieträger Kohle entschieden haben, die vom Entscheider möglicherweise erheblich höher bewertet wurde als die Handhabungsnachteile dieser Heiztechnik.

#### 6.2.5.3 Heizkostenvergleich Flüssiggas-Heizöl

##### 6.2.5.3.1 Sensitivitätsanalyse

Die Differenzkosten zwischen den Vergleichssystemen werden besonders durch Parameter beeinflusst, die die Energiemengen beeinflussen (Tab. 6.8 und Bild 6.58). Vorrangig erfolgt dies bei der Haustypvariation, aber auch die Klimazonenveränderung zeigt eine ähnlich hohe Wirkung. Als weitere wesentliche Einflußgröße ist die Veränderung der Investitionshöhe zu nennen.

					Basiswert (Mittlere Variante)		Variation					Minimale Variante		Maximale Variante	
					Flüssig- gas	Öl	Nr.	Flüssig- gas	Nr.	Öl	Fl.- gas	Öl	Fl.- gas	Öl	
0	Parameter	Symbol	Einheit	Jahr	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
	Energiekosten	EK													
1	Energiepreis	p	DPf/kWh	1977	5.19	2.99			1	+/- .03	P	P <sub>max</sub>	P	P <sub>min</sub>	
2				1984	12.43	7.52			2	+/- .30					
3	Nutzungsgrad	η	-	1977	0.73	0.72					η <sub>max</sub>	η <sub>max</sub>	η <sub>min</sub>	η <sub>min</sub>	
4				1984	0.79	0.78	3	0.82	3	0.80					
5	Klimazone	Z	-	1977	1		4	2			1				
6				1984			5								
7	Vollbenutzungs- stunden	b <sub>v</sub>	h/a	1977											
8				1984											
9	Wartungskosten	WK	DM/a	1977	125	255	6	+/- 10%	8	+/- 10%	90 %	110 %	110 %	90 %	
10				1984	212	360	7		9						
	Kapitalkosten	KP													
11	Investition	I <sub>v</sub>	DM	1977	11165	17251	10	+/- 5%	12	+/- 5%	95 %	105 %	105 %	95 %	
12				1984	13737	18392	11		13						
13	Zins	ZS	%	1977	8		14	+/- 2			8				
14				1984			15								
15	Steuer/ Subventionen	ST	%	1977											
16				1984											
	Haus typ	HT													
17	Wohnfläche	WF	m <sup>2</sup>	1977	140		16	100	18	190	100		190		
18				1984			17		19						
	Heizkostendifferenz														
19	Flüssiggas - Öl	DK	DM/a	1977	208.0		Vergleichs- systeme			Flüssiggas=Flüssiggaskessel					
20				1984	136.0					Öl = Heizölkessel					

Tab. 6.8: Parametervariation für Heizkostenvergleich Flüssiggas - Heizöl

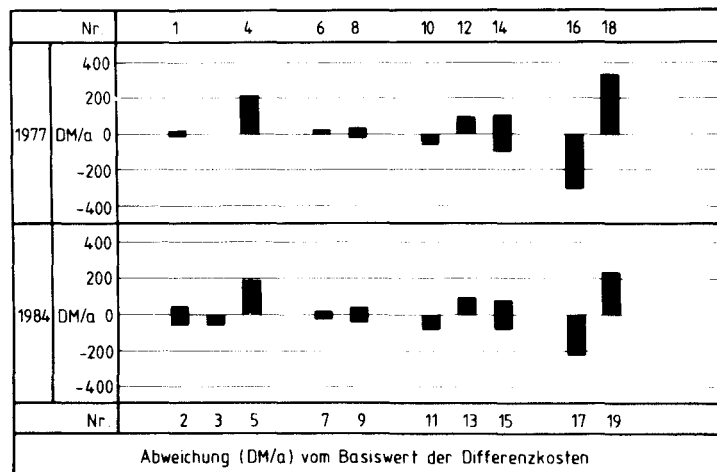


Bild 6.58: Sensitivität der Parametervariation beim Heizkostenvergleich Flüssiggas - Heizöl

#### 6.2.5.3.2 Spannbreite der Heizkosten

Aus Bild 6.59 (obere Grafik) geht hervor, daß vom reinen Energiekostenvergleich keine Impulse zur Entscheidung für Flüssiggas ausgehen konnten, denn im gesamten Betrachtungszeitraum lagen die Energiekosten einschließlich Tankmiete erheblich über den Heizölkosten.

Bei der Berücksichtigung aller Kosten verschiebt sich das Bild teilweise zugunsten der Flüssiggasheizung (Bild 6.59 - untere Grafik), Vorteile erreicht sie aber nur dort, wo kleine Energiemengen umgesetzt werden (Reihenhaus - minimale Variante). Für den mittleren Haustyp (schraffierter Bereich) bleibt die Flüssiggasheizung bei extremer Variation aller Parameter weitgehend im unwirtschaftlichen Bereich (Kurve 1). Dies gilt vermehrt dann, wenn große Energiemengen eingesetzt werden müssen (Winkelbungalow - maximale Variante).

In Bild 6.60 sind die anlegbaren Preise für Flüssiggas aus dem Vollkostenvergleich mit Heizöl für drei Varianten dargestellt. Für den gesamten Ein-, Zweifamilienhausbereich wurden einmal extreme Werte ermittelt (minimale und maximale Variante), darüber hinaus wurde der Basisfall (mittlere Variante - Einfamilienhaus) eingetragen. Die außerordentlich gute Korrelation zwischen kalkulierten Preisen und den anlegbaren Werten der mittleren Variante läßt auf eine Preisgestaltung durch Flüssiggashandelsunternehmen auf der Basis dieses Haustyps schließen. Für Haustypen mit großem Wärmebedarf (Winkelbungalow - maximale Variante) ist die Anlegbarkeit des kalkulierten Flüssiggaspreises nicht gegeben, während bei geringen Energiemengen (Reihenhaus - minimale Variante) der kalkulierte Preis jederzeit überschritten wird.

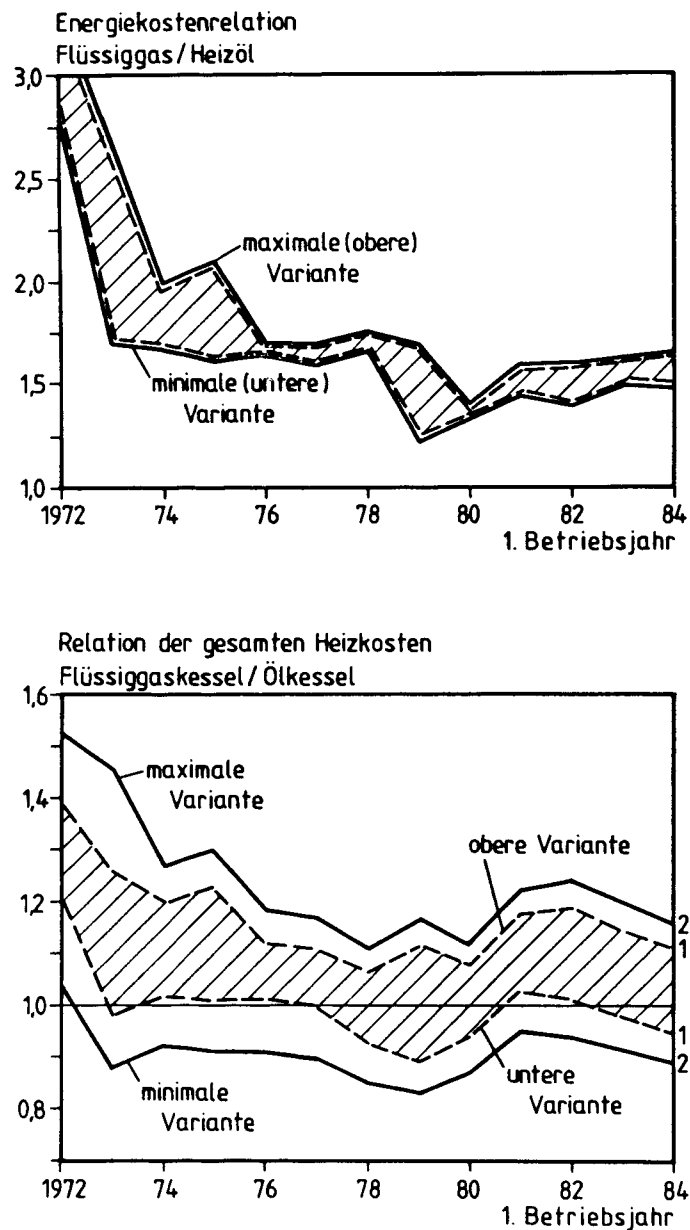


Bild 6.59: Entwicklung der Kostenrelationen zwischen Flüssiggaskessel und Ölkessel im Ein-, Zweifamilienhausbereich (Neubau)

- Energiekosten (obere Grafik)
- gesamte Heizkosten (untere Grafik)
- 1 - extreme Variation aller Parameter im Einfamilienhaus
- 2 - extreme Variation aller Parameter im Ein-, Zweifamilienhausbereich

Annahmen: Tab. 6.8

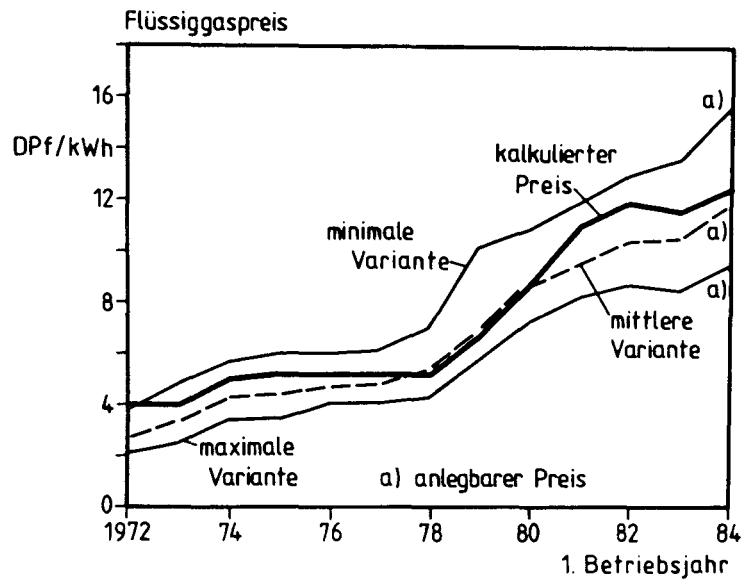


Bild 6.60: Anlegbarer und kalkulierter Flüssiggaspreis aus Heizkostenvergleich zwischen Gas- und Ölkessel

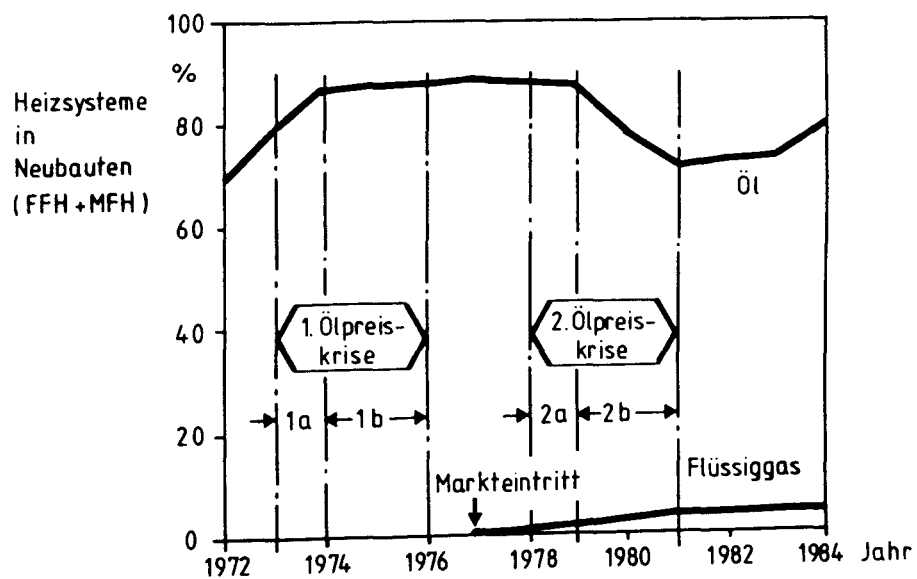


Bild 6.61: Neubaumarktanteile (Wohnungen) für Flüssiggas und Heizöl in Versorgungsgebieten mit dominierender Heizölversorgung  
a) Vorlaufzeit                      b) Reaktionszeitraum  
EFH - Einfamilienhaus      MFH - Mehrfamilienhaus

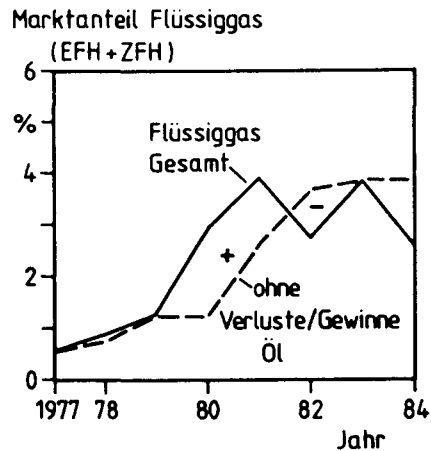


Bild 6.62: Flüssiggasmarktanteile bei direktem Wettbewerb mit dem Heizöl

#### 6.2.5.3.3 Verbraucherentscheidung

In den Bildern 6.61 und 6.62 ist die Marktentwicklung des Flüssiggases in Versorgungsgebieten mit dominierender Heizölversorgung dargestellt. Der in dem Bild 6.62 zum Zeitpunkt 1977 eingezeichnete Markteintritt bezieht sich auf den Termin der statistischen Erfassung des Energieträgers Flüssiggas, auch vor diesem Zeitpunkt war Flüssiggas schon verfügbar.

Die höhere Auflösung in Bild 6.62 gibt die Substitutionsbewegungen deutlicher wieder als in dem Bild 6.61. Vor allem als Reaktion auf die zweite Ölpreiskrise konnte Flüssiggas seine Position verbessern, ohne indes über die Bedeutung einer Restgröße hinweg gekommen zu sein. Wenn die zunehmende Entscheidung auf Preiserwartungen bzw. auf Energiekosten beruhte, so war sie keine ökonomisch rationale Entscheidung. Auf der Basis eines Vollkostenvergleiches war die Möglichkeit gegeben, daß die Entscheidung für Flüssiggas auch zugleich eine ökonomische Entscheidung war, dies hängt davon ab, aus welcher Position der Verbraucher sich innerhalb der Kostenspannbreite für Flüssiggas entschied (vgl. Bild 6.59).

#### 6.2.5.4 Heizkostenvergleich zwischen monovalenter Grundwasser-Elektrowärmepumpe und Ölkessel

Ein wesentliches Motiv zur Wahl einer Wärmepumpe war die zu erwartende Energiekosteneinsparung gegenüber konventionellen Heizsystemen und besonders gegenüber dem Ölkessel. Damit verband sich die Möglichkeit, die zunehmende Kostenbelastung der Haushalte durch Energiepreiserhöhungen aufzufangen.

Wirtschaftsrechnungen zur Ermittlung der Kostenbelastungen privater Haushalte werden vom Statistischen Bundesamt durchgeführt. Darin wird nach 3 Haushaltstypen unterschieden /6.43/:

- a) 2-Personen-Haushalte von Rentenempfängern mit geringem Einkommen (Haushaltstyp 1)
- b) 4-Personen-Arbeitnehmerhaushalt mit mittlerem Einkommen (Haushaltstyp 2)
- c) 4-Personen-Beamten- und Angestellten-Haushalte mit höherem Einkommen (Haushaltstyp 3)

Bezieht man die im freistehenden Einfamilienhaus ( $140 \text{ m}^2$ ) anfallenden Heizölkosten auf den privaten Verbrauch des Haushaltstyps 3, so erhält man die in Bild 6.63 gezeigte Entwicklung. Ähnlich der Ölpreisentwicklung verläuft die Kostenbelastung des Haushalts, das steigende Einkommen wirkte nur im Zeitraum 1974 - 1978 dämpfend, als zugleich die Ölpreise stagnierten. Den Rechnungen wurde unterstellt, daß die Räume weiterhin vollbeheizt werden. Die Entwicklung in der Praxis ist etwas anders verlaufen, da die Haushalte nach den Ölpreissteigerungen ihre Komfortansprüche zurückschraubten. Die dargestellte Linie zeigt somit die obere Grenze, die reale Entwicklung liegt unter dieser Kurve. Trotzdem zeigt der dargestellte Zusammenhang, daß sich die Kostenbelastung gegenüber 1972 erheblich erhöhte.



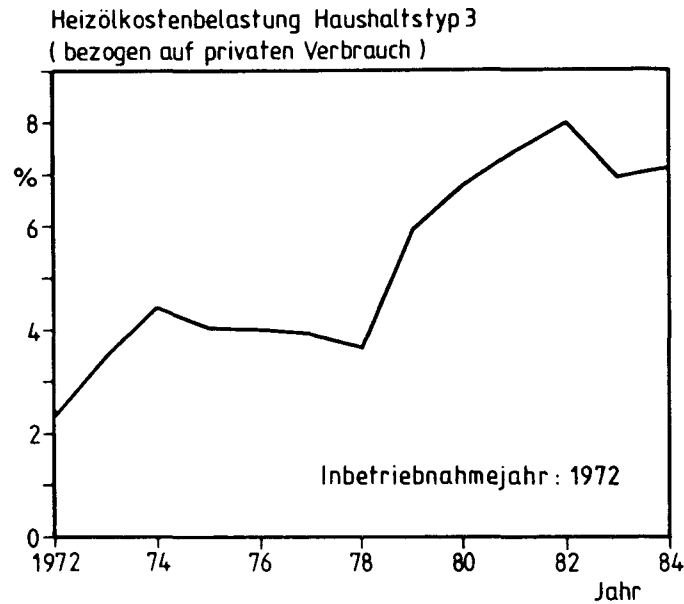


Bild 6.63: Entwicklung der Heizölkostenbelastung des Haushaltstyps 3 (n. Stat. Bundesamt) bezogen auf den privaten Verbrauch /6.44/  
Annahme: Einfamilienhaus 140 m<sup>2</sup>  
Vollbeheizung der Räume

Während in Bild 6.63 die Energiekostenbelastung über einen längeren Betriebszeitraum eines Ölkessels ermittelt wurde, wird nun die Situation jeweils für das 1. Betriebsjahr einer Anlage dargestellt. Jetzt kommen die energiesparenden Effekte der erhöhten Wärmeschutzanforderungen zum Tragen.

In Bild 6.64 sind für zwei Haushaltstypen die Kostenbelastungen dargestellt. Der Haushaltstyp 2 mit mittlerem Einkommen wurde der Energiekostenentwicklung des Reihenhauses (100 m<sup>2</sup>) zugeordnet, während die Energiekosten des freistehenden Einfamilienhauses (140 m<sup>2</sup>) auf den privaten Verbrauch des Haushalts mit höherem Einkommen (Typ 3) bezogen wurde.

Die Energiekostenbelastung zeigt in beiden Fällen einen sehr ähnlichen Verlauf. Infolge der veränderten Wärmeschutzanforderungen ergeben sich über den gesamten Betrachtungszeitraum

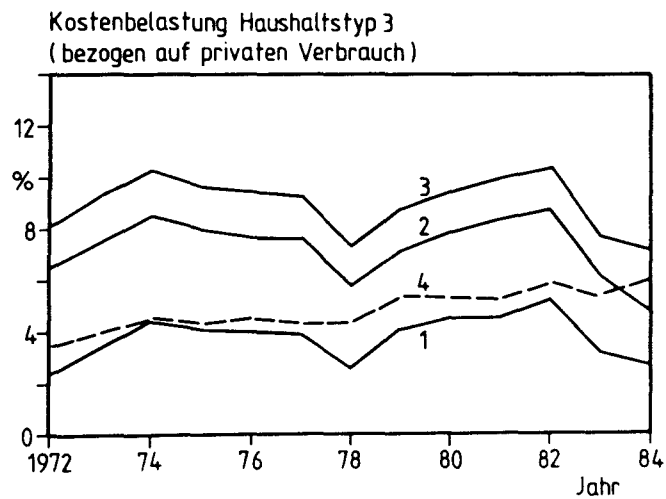
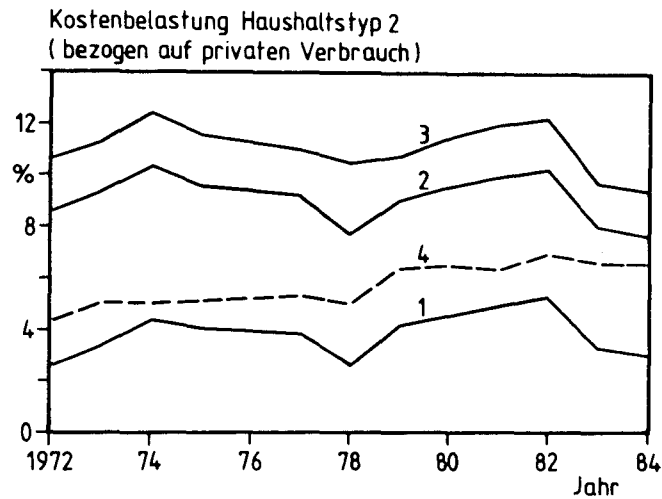


Bild 6.64: Entwicklung der Kostenbelastung zweier Haushaltstypen (nach Stat. Bundesamt) bezogen auf den privaten Verbrauch /6.44/  
 - Reihenhaushaus (obere Grafik)  
 - Einfamilienhaus (untere Grafik)  
 Annahme: Vollbeheizung  
 1: nur Heizölkosten  
 2: Heizölkosten und Kapitaldienst  
 3: gesamte Heizkosten  
 4: Energiekosten aller Anwendungszwecke  
 nach Stat. Bundesamt

keine signifikanten Anstiege mehr. Von der Energiekostenseite ist die Motivation zum Kauf einer Wärmepumpe auch nach der zweiten Ölpreiskrise weitaus geringer als sie bei der Kostenbelastung des Bildes 6.63 gezeigt wurde. Zur Ergänzung wurden weiterhin Kostenbelastungen eingezeichnet, wenn der Kapitaldienst bzw. die gesamten Heizkosten berücksichtigt werden. Die oberen Grenzen liegen bei 12 bzw. 10 % und sind weitaus höher, als den Haushalten bewußt sein dürfte.

Wenn Wärmepumpen bei Vollkostenrechnung mit konventionellen Systemen auf breiter Basis konkurrieren wollen, dann müssen sie vergleichbare Kostenbelastungen möglich machen.

Zur Einschätzung der errechneten Energiekosten wurden die gesamten Aufwendungen für alle Energieverwendungszwecke nach Erfassungen des Statistischen Bundesamtes eingezeichnet. Diese Kurven (4) müssen über der Kurve der reinen Raumwärmekosten liegen, da der Raumwärmeverbrauch etwa 70 - 80 % des Energieverbrauchs im Haushalt ausmacht /6.45/.

#### 6.2.5.4.1 Sensitivitätsanalyse

Gegenüber den bisherigen Heizkostenvergleichen wird die Sensitivitätsanalyse durch die Risikobewertung der Wärmepumpe erweitert. Die Betrachtung bezieht sich auf die Einschätzung der Lebensdauer und des Instandhaltungssatzes der Wärmepumpe einschließlich der Wärmequelle. Bei risikofreundlicher Einschätzung dieser neuen Technik werden die Werte konventioneller Technik angesetzt, während bei pessimistischer Einschätzung Werte nach der VDI-Richtlinie 2067 der Ausgabe 1979 unterstellt werden. Die mittlere Einschätzung dieser Werte entspricht veröffentlichten Annahmen der Stromwirtschaft (vgl. Kap. 5). Das Ergebnis der erweiterten Parametervariation nach Tab. 6.9 ist in Bild 6.65 dargestellt.

Der Differenzkostenvergleich zwischen der monovalenten Grundwasser-Wärmepumpe und dem Ölkessel zeigt die außerordentliche Bedeutung der Risikobewertung. Für die Rechnung selbst ist verstärkend zu berücksichtigen, daß die Effekte der Parameter

				Basiswert (Mittlere Variante)						Variation						Minimale Variante				Maximale Variante			
Parameter		Symbol	Einheit	Jahr	Mon. WP	Ø1	Nr.	Mon. WP	Nr.	Ø1	Mon. WP	Ø1	Mon. WP	Ø1	Mon. WP	Ø1	Mon. WP	Ø1	Mon. WP	Ø1			
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10													
	Energiekosten	EK																					
1	Energiepreis	p	DPf/kWh	1977	9.9	2.99			1	+/- .03							P	P <sub>max</sub>	P	P <sub>min</sub>			
2				1984	17.5	7.52			2	+/- .30													
3	Nutzungsgrad/ Arbeitszahl	η/β	-	1977	3.25	0.72	3	+/- .25									η <sub>max</sub>	η <sub>min</sub>	η <sub>min</sub>	η <sub>max</sub>			
4				1984	3.25	0.78	4	+/- .25	5	0.80													
5	Klimazone	Z	-	1977	1		6	2								1							
6				1984			7																
7	Anteil Wärmepumpe	AW	%	1977	100												100		100				
8				1984																			
9	Wartungskosten	WK	DM/a	1977	187	255	8	+/- 10%	10	+/- 10%							90 %	110 %	110 %	90 %			
10				1984	255	360	9		11														
	Kapitalkosten	KP																					
11	Investition	Iv	DM	1977	30190	17251	12	+/- 5%	14	+/- 5%							95 %	105 %	105 %	95 %			
12				1984	32186	18392	13		15														
13	Zins	ZS	%	1977	8		16	+/- 2								8							
14				1984			17																
15	Steuer/ Subventionen	ST	%	1977																			
16				1984	-	-	18	25									25	-	-	-			
	Risikobewertung	RS																					
17	Lebensdauer	N	a	1977	15	20	19	+/- 5									20	20	10	20			
18				1984			20																
19	Instandhaltungs- satz	IS	%	1977	3.0	2.5	21	2.5/ 4.0									2.5	2.5	4.0	2.5			
20				1984			22																
	Hautyp	HT																					
21	Wohnfläche	WF	m²	1977	140		23	100	25	190						190					100		
22				1984			24		26														
	Heizkostendifferenz																						
23	Wärmepumpe - Ölkessel	DK	DM/a	1977	1472.8			Vergleichs- systeme			Mon. = Monovalente Grundwasser- WP												
24				1984	1355.4						Ø1 = Heizölkessel												

Tab. 6.9: Parametervariation für Heizkostenvergleich mono-  
valente Wärmepumpe - Ölkessel

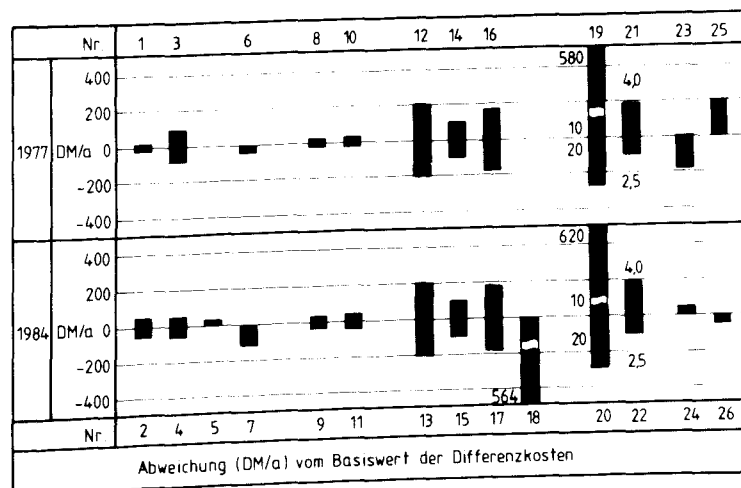


Bild 6.65: Sensitivität der Parametervariation beim Heiz-  
kostenvergleich monovalente Wärmepumpe - Ölkessel

Lebensdauer und Instandhaltungssatz additiv auftreten. Von ähnlicher Bedeutung ist die Möglichkeit, Steuererleichterungen geltend zu machen (ab 1979). Weiterhin haben auch die Variation der Investition, des Zinssatzes und des Haustyps deutlichen Einfluß auf die Veränderung der Differenzkosten, während die Energiepreise nur von geringer Bedeutung sind.

#### 6.2.5.4.2 Spannbreite der Heizkosten

Bild 6.66 gibt für die untersuchten Haustypen die Entwicklung der Kostenrelationen zwischen den Vergleichssystemen für Energie- und Gesamtkosten wieder. Die maximale Variante gilt für ein Reihenhaus ( $100 \text{ m}^2$ ), für diesen Fall werden die günstigsten Parameterwerte des Ölkessels mit den ungünstigsten der Wärmepumpe kombiniert. Umgekehrt ist es bei der minimalen Variante der Fall (Zweifamilienhaus  $190 \text{ m}^2$ ). Bis auf die unterschiedliche Behandlung der Steuervorteile werden für die mittlere Variante die Basiswerte der Einflußgrößen unterstellt.

Aus der Entwicklung der Energiekosten wird ersichtlich, daß erst mit der ersten Ölpreiskrise Kostenvorteile für monovalente Wärmepumpen entstanden, die sich mit der zweiten Ölpreiskrise erheblich verbesserten. Dies gilt unabhängig vom Haustyp und der unterstellten Arbeitszahl.

Die Betrachtung der Heizkostenrelationen beginnt im Jahre 1976, weil etwa ab diesem Zeitpunkt der erkennbare Aufschwung der Wärmepumpen begann und benötigte Informationen verfügbar waren. Die Spannbreite der ermittelten Heizkosten ist außerordentlich weit.

Wichtig ist, daß bei Wahl äußerst günstiger Annahmen die Vorteilhaftigkeit der Wärmepumpen auch bei statischen Rechnungen erbracht werden konnte. Darüber hinaus muß berücksichtigt werden, daß es erst ab 1980 zuverlässige Planungsverfahren und Daten für derartige Rechnungen gab, so daß unterstellt werden kann, daß die anbietende Wärmepumpenwirtschaft dieses Informationsdefizit in ihrem Sinne ausgelegt hat. Für die mittlere Variante wurden Annahmen nach Vorgaben der Stromwirtschaft

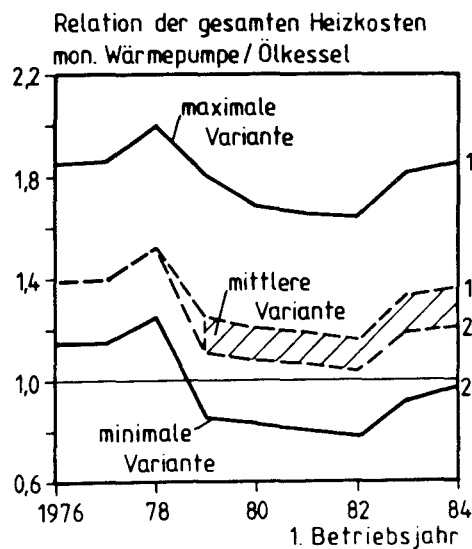
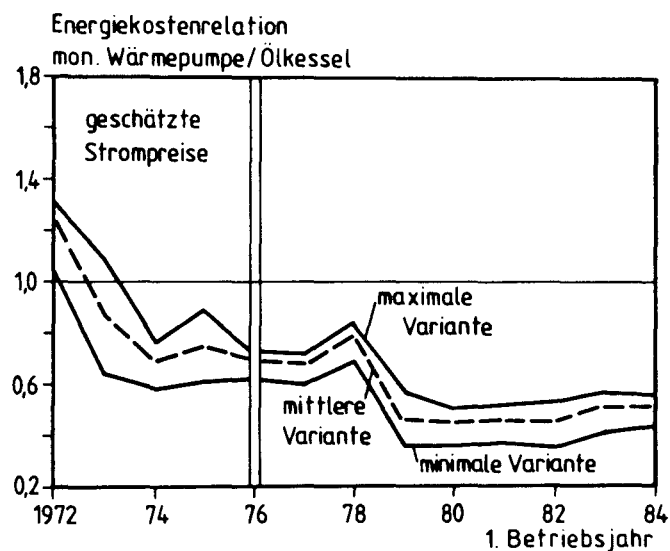


Bild 6.66: Entwicklung der Kostenrelationen zwischen monovalenter Grundwasser-Wärmepumpe und Ölkessel im Ein-, Zweifamilienhausbereich (Neubau)

- Energiekosten (obere Grafik)
- gesamte Heizkosten (untere Grafik)

Extreme Parametervariation im Ein-, Zweifamilienhausbereich

- maximale Variante: Reihenhaushaus (100 m)
- minimale Variante: Zweifamilienhaus (190 m)

Variation der Steuervorteile im Einfamilienhaus (mittlere Variante)

- 1: ohne Steuervorteile
- 2: mit Steuervorteilen

Annahmen: Tab. 6.9

angesetzt. Sie entstammen dem Zeitraum 1980 - 1984 und wurden auch rückwirkend einbezogen. Die Bedeutung der Steuervorteile wird in Bild 6.66 (untere Grafik) besonders hervorgehoben. Während sich mit Steuervorteilen annähernd eine Wirtschaftlichkeit ergibt, ist diese ohne Steuervorteile eindeutig nicht mehr gegeben.

Den kombinierten Einfluß der Steuer und der technischen Risikobewertung auf die Spannbreite der Heizkosten gibt Bild 6.67 wieder. Im günstigsten Fall (Steuervorteile und geringe Risikoeinschätzung) ergibt sich auch im Fall des mittleren Haustyps ( $140 \text{ m}^2$ ) ab 1979 Kostengleichheit mit dem Ölkessel. Auch bei Steuervorteilen führt die Annahme eines hohen Risikos für die technischen Parameter Arbeitszahl, Lebensdauer und Instandhaltung zu erheblich negativen Effekten für die Wärmepumpe (Bild 6.67 - linke Grafik). Dies gilt im verstärkten Maße, wenn die Steuervorteile nicht einbezogen werden (Bild 6.67 - rechte Grafik).

Für die Grenzwerte der Heizkosten-Spannbreite ist in Bild 6.68 der Einfluß der Energiekosten auf die Vollkosten aufgeführt. Für die ausgewählten Jahre ist der Energiespareffekt durch Wärmepumpen deutlich erkennbar. Von größerer Bedeutung erweist sich wiederum die Risikoeinschätzung, die dann dazu führt, daß im günstigen Fall (minimale Variante) die Gesamtkosten für das größere Haus (Zweifamilienhaus  $190 \text{ m}^2$ ) unter den Kosten des kleineren Hauses (Reihenhaus  $100 \text{ m}^2$ ) im ungünstigen Annahmefall (maximale Variante) liegen.

Für die mittlere Variante (Einfamilienhaus  $140 \text{ m}^2$ ) gibt Bild 6.69 die detaillierte Kostenstruktur wieder. Vorausgesetzt wurde bei diesem Vergleich, daß ab 1979 Steuervorteile genutzt werden. Für die drei betrachteten Jahre bleibt trotz steigender Energiekostenvorteile der Kapitalanteil bei über 50 %. Dies liegt an den verringerten Energiemengen infolge der sich verändernden Wärmeschutzanforderungen, dadurch kommen Energiekostenvorteile immer weniger zur Geltung.

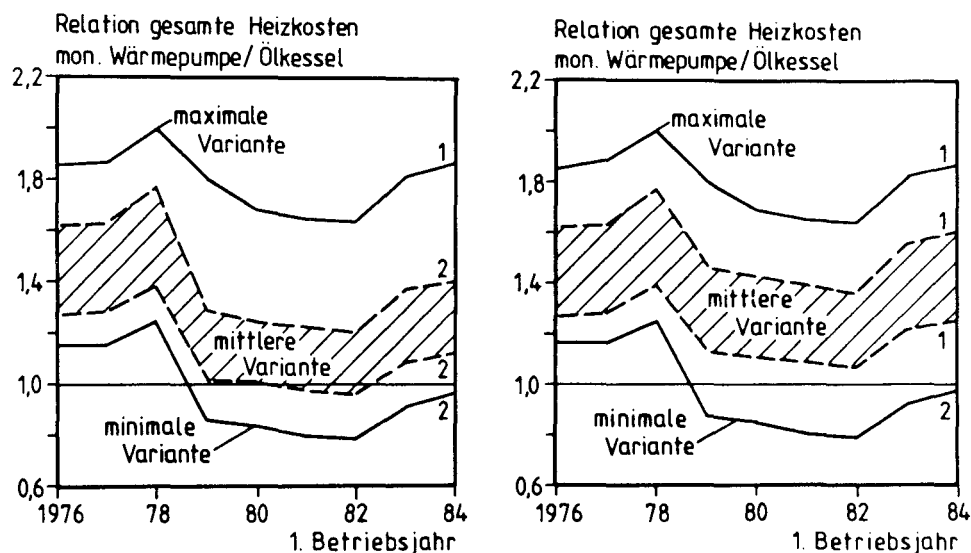


Bild 6.67: Einfluß der Steuer und der Risikobewertung auf die Kostenrelationen zwischen monovalenter Grundwasser-Wärmepumpe und Ölkessel

- maximale Variante: extreme Parametervariation im Reihenhaushaus
- minimale Variante: extreme Parametervariation im Zweifamilienhaus
- mittlere Variante: Nur extreme Risikobewertung (schraffiert) für Arbeitszahl, Lebensdauer und Instandhaltungssatz im Einfamilienhaus

1: ohne Steuervorteile  
2: mit Steuervorteilen  
Annahmen: Tab. 6.9

In Bild 6.70 sind kritische Werte aufgeführt. Für die anlegbaren Preise (linke Grafik) zeichnen sich zwei Tendenzen ab. Während die anlegbaren Preise für die minimale und mittlere Variante nach der zweiten Ölpreiskrise nahe an bzw. über dem kalkulierten Strompreis liegen, ist im Fall der maximalen Variante zu keiner Zeit ein positiver Beitrag gegeben. Bei statischer Rechnung müßte der Käufer von der Wärmepumpenwirtschaft eine Strompreisgutschrift pro kWh in angegebener Höhe erhalten, um einen Anreiz zur Investitionsentscheid für diese innovative Technik zu haben.



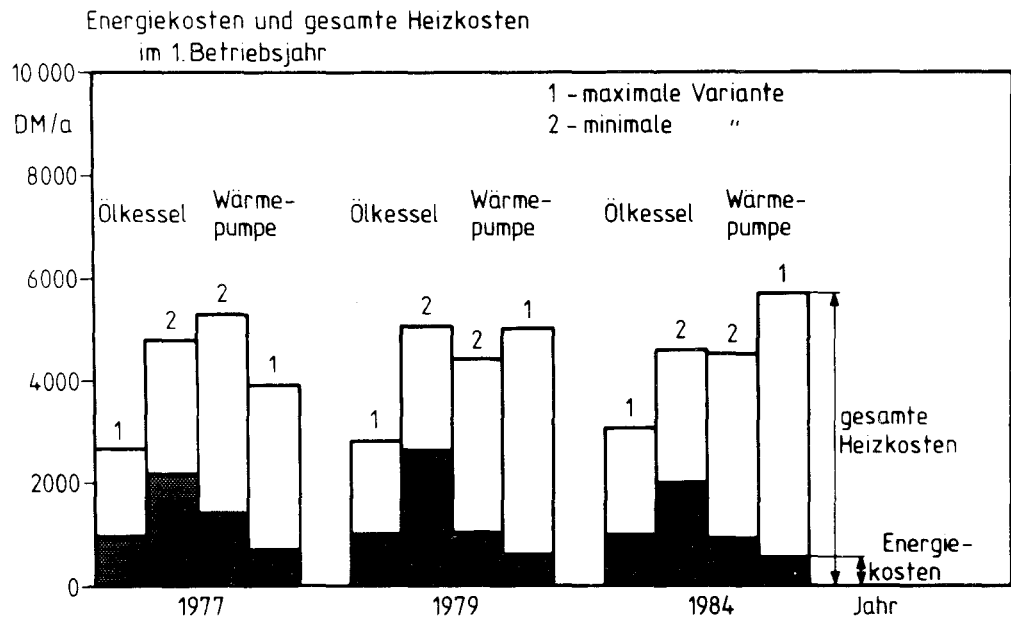


Bild 6.68: Vergleich der Energiekosten und der gesamten Heizkosten zwischen monovalenter Wärmepumpe und Ölkessel für ausgewählte Jahre (extreme Varianten)  
Anm.: 1979 und 1984 geändertes Wärmeschutzniveau  
Annahmen : Tab. 6.9

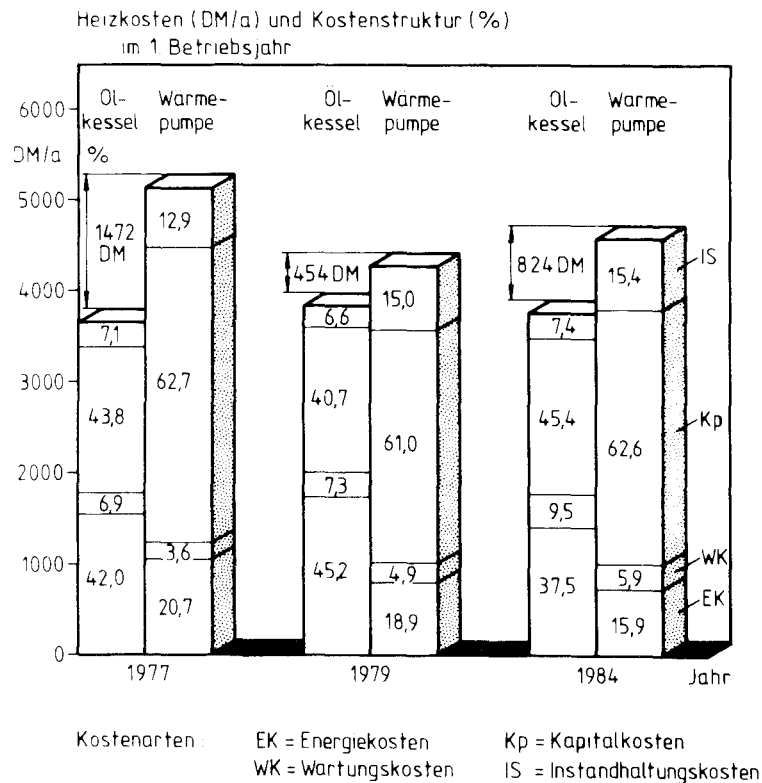


Bild 6.69: Vergleich der absoluten Heizkosten und Kostenstrukturen zwischen monovalenter Wärmepumpe und Ölkessel für ausgewählte Jahre (mittlere Variante - mit Steuervorteil)  
Anm.: 1979 und 1984 geändertes Wärmeschutzniveau  
Annahmen: Tab. 6.9

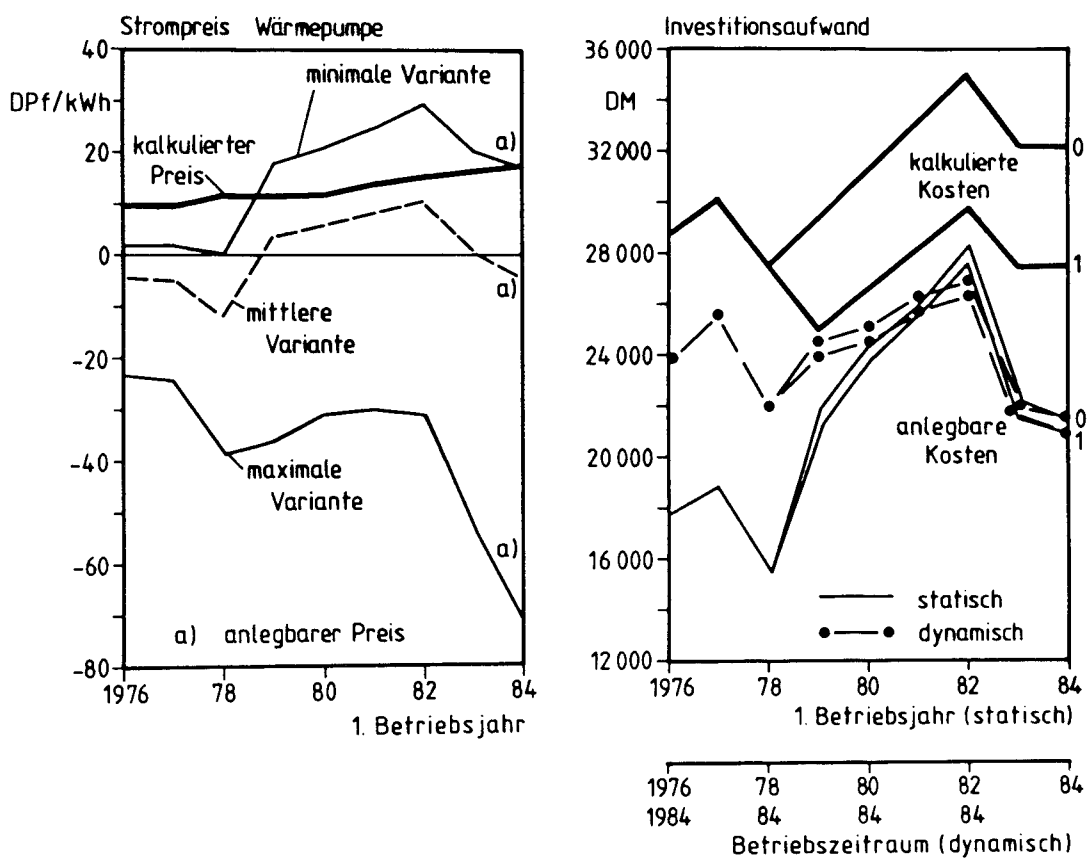


Bild 6.70: Kritische Werte aus Heizkostenvergleich zwischen monovalenter Wärmepumpe und Ölkessel

- anlegbarer und kalkulierter Wärmepumpenstrompreis bei statischer Rechnung für drei Varianten (linke Grafik)
- anlegbare und kalkulierte Kosten für Wärmepumpen bei statischer und dynamischer Rechnung für mittlere Variante (rechte Grafik)

0: ohne Steuervorteile  
1: mit Steuervorteilen  
1978, 1983 und 1984 geändertes Heizleistungsniveau  
Annahmen: Tab. 6.9

Die in Bild 6.70 angegebenen kritischen Kosten beziehen sich auf die mittlere Variante, die von den Basiswerten der Tab. 6.9 ausgeht, lediglich die Berücksichtigung von Steuervorteilen wird variiert.

Neben der statischen Rechnung werden die im Betrachtungszeitraum anfallenden Kosten auf den Endzeitpunkt 1984 aufgezinst. Die dynamische Rechnung zeigt für die ersten Betriebsjahre 1976 und 1977 Vorteile gegenüber statischer Rechnung. Die Anlegbarkeit der unterstellten Kosten läßt sich für den relativ kurzen Betrachtungszeitraum auch aus der Rückschau nicht belegen. Für den Zeitraum 1979 bis 1984 gibt es kaum Unterschiede zwischen dynamischer und statischer Betrachtung, auch hier ist die Anlegbarkeit nicht gegeben, allerdings ist bei Einbeziehung von Steuervorteilen (Kurve 1) der Abstand zu den kalkulierten Kosten (Kurve 1) für 1979 - 1982 gering. Mit verändertem Heizleistungsniveau (neue DIN 4701/1983) und erhöhtem Wärmeschutzniveau (Wärmeschutzverordnung - 1984) verschlechtert sich die Position der Wärmepumpe erheblich.

Für beide Steuerfälle ist die Entwicklung der Differenzkosten für den mittleren Haustyp in Bild 6.71 dargestellt. Sowohl aus statischer als auch besonders bei dynamischer Rechnung ergeben sich erhebliche Energiekostenvorteile. Die Vollkostenbetrachtung entspricht der Analyse der anlegbaren Kosten. Als günstigstes Jahr erweist sich aus dynamischer Sicht 1979, während bei statischer Rechnung im Jahr 1982 fast Kostengleichheit mit dem Ölkessel erreicht wird.

#### 6.2.5.4.3 Dynamischer ex-ante Heizkostenvergleich

Während die statischen Heizkostenrechnungen nach VDI 2067 zur Ermittlung des ökonomischen Entscheidungskalküls dienen, wurden die dynamischen ex-post Berechnungen zur nachträglichen Einschätzung der statischen Entscheidungsgrundlagen durchgeführt. Bei der Analyse der Verbraucherentscheidung für Wärmepumpen muß jedoch unterstellt werden, daß teilweise der Rahmen statischer Berechnungen verlassen wurde und besonders von Wärmepumpenherstellern eine Beratung aufgrund dynamischer ex-ante Berechnungen erfolgte.

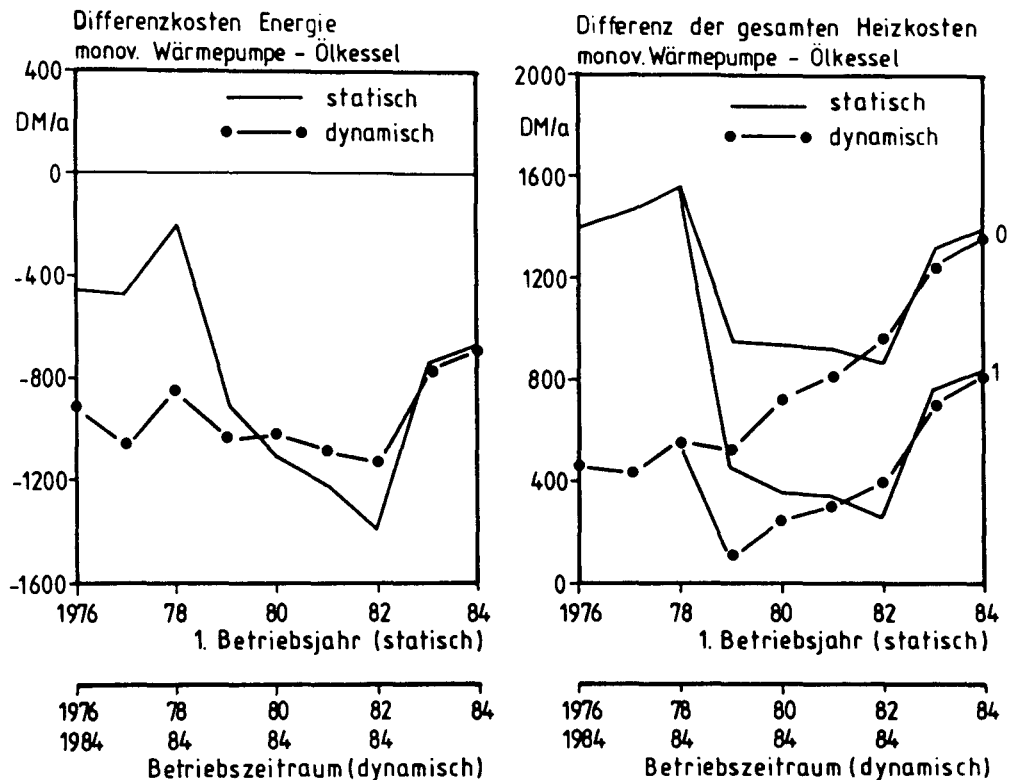


Bild 6.71: Entwicklung der Differenzkosten zwischen monovalenter Wärmepumpe und Ölkessel für mittlere Variante (Einfamilienhaus) bei statischer und dynamischer Rechnung  
 - Energiekosten (linke Grafik)  
 - gesamte Heizkosten (rechte Grafik)  
 0: ohne Steuervorteile  
 1: mit Steuervorteilen (ab 1979)  
 Annahmen: Tab. 6.9

Für die folgenden Berechnungen wird ebenfalls die für die statischen Berechnungen angenommene Kostenstruktur der drei untersuchten Varianten vorausgesetzt. Für verschiedene Betriebszeiträume wird nach der durchschnittlichen Ölpreissteigerungsrate gefragt, die notwendig ist, um Kostengleichheit mit dem Ölkessel zu gewährleisten. Die so ermittelten kritischen Ölpreissteigerungsraten geben Aufschluß darüber, ob es sich um belegbare oder überhöhte Ölpreisentwicklungen handelt.

Die Wahl der Betriebszeiträume richtet sich nach der Risikobewertung der Wärmepumpe. Für die pessimistische Einschätzung (maximale Variante) wird der Betriebszeitraum gleich der ange-

nommenen Lebensdauer der Wärmepumpe (d. h. 10 Jahre) gesetzt. Höhere Betriebszeiträume werden nicht betrachtet, da sonst Reinvestitionen zu berücksichtigen wären. Für die mittlere Variante beträgt die angenommene Lebensdauer der Wärmepumpe 15 Jahre.

Als Betriebszeiträume werden 10 und 15 Jahre angenommen. Bei besonders optimistischer Lebensdauereinschätzung der Wärmepumpe wird von 20 Jahren ausgegangen. Für 10, 15 und 20 Jahre werden in diesem Fall die Ölpreissteigerungsraten ermittelt. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Bild 6.72 skizziert. Bei

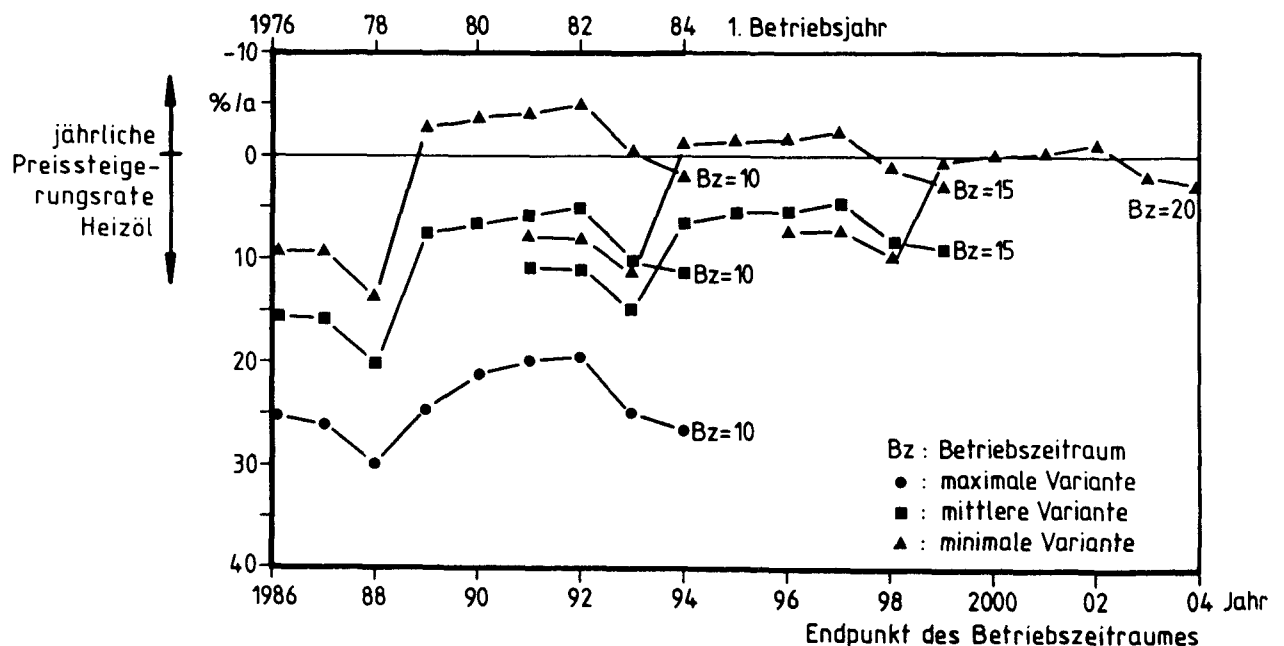


Bild 6.72: Berechnung der kritischen (nominalen) Ölpreissteigerungsraten zur Erzielung der Kostengleichheit zwischen monovalenten Wärmepumpen und Ölkesseln bei verschiedenen Betriebszeiträumen (dynamische Vorausberechnung)

- maximale Variante: pessimistische Wärmepumpenbewertung (Reihenhaus)
- mittlere Variante: durchschnittliche Einschätzung der Vergleichssysteme (Einfamilienhaus)
- minimale Variante: optimistische Wärmepumpenbewertung (Zweifamilienhaus)

Annahme: durchschnittliche Strompreissteigerungsrate 7 % (nominal)

Weitere Annahmen: s. Tab. 6.9

pessimistischer Wärmepumpenbewertung in Anlehnung an die VDI-Vorgaben bewegen sich die kritischen Preissteigerungsraten zwischen 20 und 30 %/a. Diese hohen Preissteigerungsraten konnten über einen längeren Zeitraum bisher nicht beobachtet werden. Zwischen 1972 und 1984 lag die durchschnittliche Wachstumsrate des Ölpreises bei 17 %/a (vgl. Bild 5.14). Derartig hohe Wachstumsraten waren bei der mittleren Preisvariante nur im extremen Fall bei Betriebszeiträumen von 10 Jahren erforderlich. Aufgrund des hohen Heizölkostenanteils kann im Falle der mittleren Variante die durchschnittliche Wachstumsrate für weite Bereiche unter der des Strompreises liegen (für Betriebszeiträume von 10 und 15 Jahren). Im Falle der minimalen Variante, die schon bei statischer Berechnung Kostenvorteile für die monovalente Wärmepumpe aufzeigte, kann der Ölpreis sogar zurückgehen, trotzdem bleibt die Wärmepumpe dem Ölkessel gleichwertig.

Für die Energieberater, die im Falle der Wärmepumpe zumeist Interessenvertreter waren, ergab sich somit ein weites Spektrum, dem Käufer die ökonomische Gleichwertigkeit der Wärmepumpe mit dem Ölkessel nachzuweisen. Der ungünstige Fall der maximalen Variante dürfte bei diesen Kalkulationen keine Rolle gespielt haben, allerdings wird er das Meinungsbild der neutralen Berater, die sich nach der VDI 2067 richteten, nicht unwesentlich beeinflusst haben.

#### 6.2.5.4.4 Bewertung der Wärmepumpe durch die Elektrizitätswirtschaft

Da für den Heizkostenvergleich monovalente Wärmepumpe - Ölkessel keine Bewertungen der Mineralölwirtschaft vorliegen, werden lediglich die Einschätzungen der Elektrizitätswirtschaft mit den eigenen Rechnungen verglichen (s. Bild 6.73).

Diese dort errechneten Energiekostenvorteile sind von der Größenordnung her den eigenen Berechnungen für die mittlere Variante bei Unterstellung der Basiswerte vergleichbar (s. Bild 6.71). Auch die Einschätzung der gesamten Heizkosten entspricht

dieser mittleren Bewertung, extreme optimistische Vorteile werden also nicht unterstellt. Dies hat zur Folge, daß innerhalb der Marketingstrategie der Elektrizitätswirtschaft ökonomische Kriterien nicht vorrangig herausgestellt werden können, ergänzend müssen Aspekte wie Versorgungssicherheit und Leistungsbilanzdefizite einen erheblichen Nebennutzen bei der Urteilsbildung übernehmen.

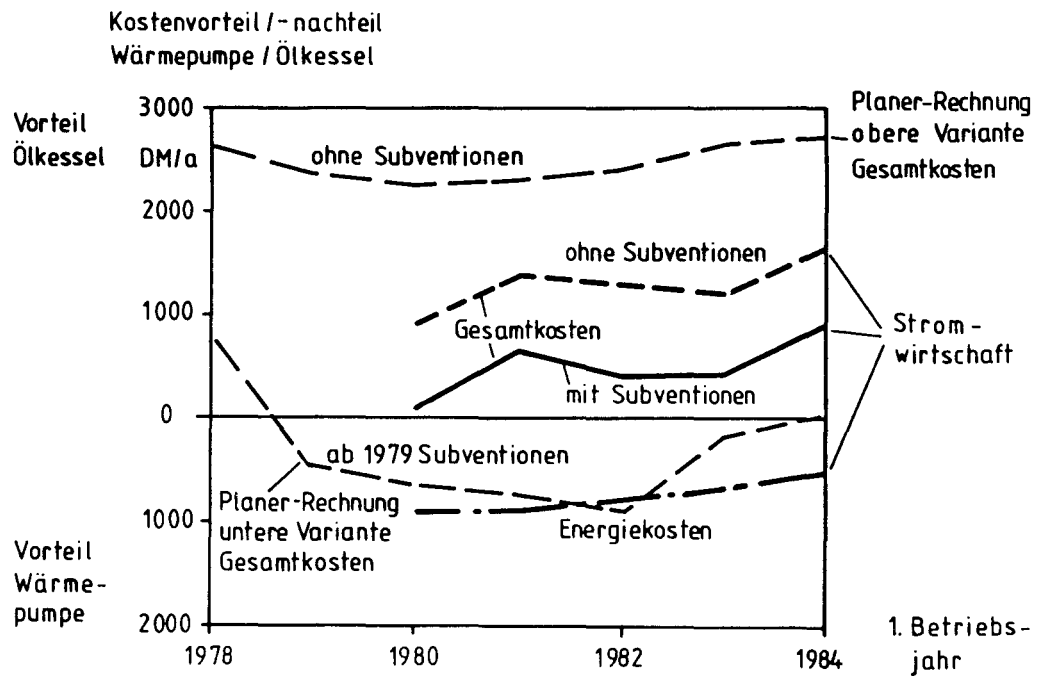


Bild 6.73: Einschätzung monovalenter Wärmepumpen im Vergleich mit dem Ölkessel nach Rechnungen der Stromwirtschaft /6.42/ bzw. eigenen Rechnungen  
Basis: Einfamilienhaus

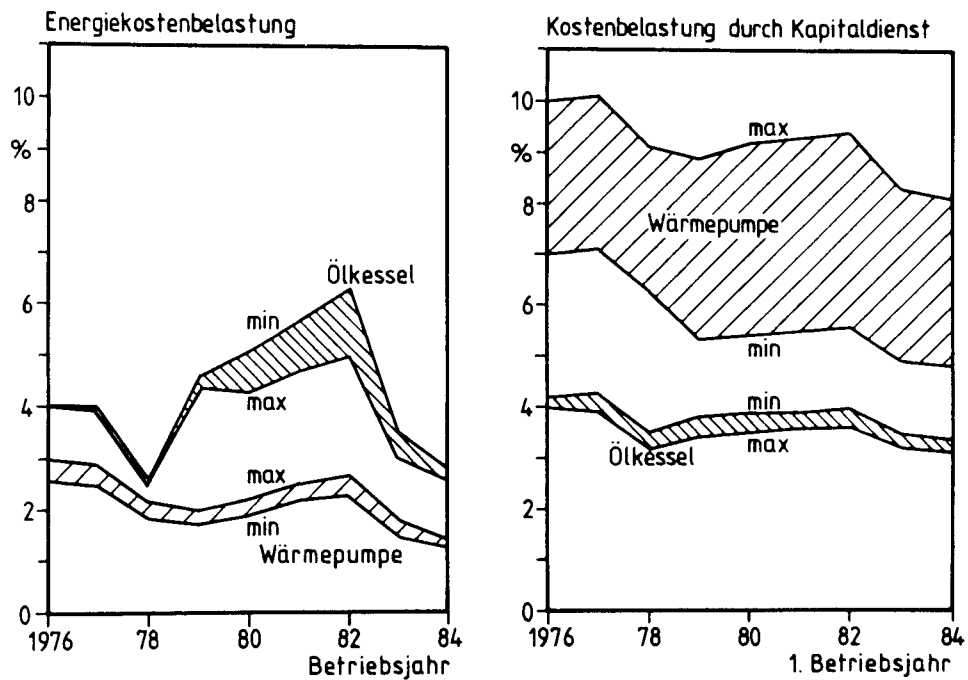


Bild 6.74: Kostenbelastung des Haushaltstyps 3 (nach Stat. Bundesamt) durch monovalente Wärmepumpen und Ölkessel für ein Einfamilienhaus

- Energiekosten (linke Grafik)
- Kapitaldienst (rechte Grafik)

minimale Variante (min): extreme Parametervariation bei optimistischer Einschätzung der Wärmepumpe und pessimistischer Bewertung des Ölkessels  
 maximale Variante (max): extreme Parametervariation bei pessimistischer Einschätzung der Wärmepumpe und optimistischer Bewertung des Ölkessels  
 Anm.: 1978, 1983, 1984 geändertes Heizleistungsniveau  
 Annahmen: Tab. 6.9



#### 6.2.5.4.5 Kostenbelastung der Haushalte

Zur Beurteilung der Kostenbelastung wird der Haushaltstyp 3 mit überdurchschnittlichem Einkommen herangezogen. Die Kostenbelastung wird unter den wichtigsten Aspekten betrachtet, dies sind die Energiekosten und der Kapitaldienst. Bild 6.74 gibt einen Überblick über die Kostenbelastung des Haushaltstyps 3 durch diese gegenläufigen Kostenarten.

Bei einseitiger Berücksichtigung der Energiekosten ergeben sich durch die Wahl der Wärmepumpe deutliche Kostenentlastungen gegenüber dem Ölkessel. Auf der anderen Seite wirkt der hohe Investitionsbedarf mehr als kompensierend, denn die Belastung aus dem Kapitaldienst der Wärmepumpe liegt erheblich über der des Ölkessels. Auch hier wird durch die Spannbreite der Kostenbelastung deutlich, welch großen Einfluß die Risikobewertung für diese neue Technik hat.

Obwohl weder Käufer noch Planer sich in dieser Form ein Bild über die Bewertung des Risikos gemacht haben dürften, kann unterstellt werden, daß der erheblich höhere Investitionsaufwand einen negativen Einfluß auf die Investitionsentscheidung hat, auch wenn durch Berücksichtigung der übrigen Kostenarten eine insgesamt positive Bewertung der innovativen Technik nachweisbar ist.

#### 6.2.5.4.6 Verbraucherentscheidung

##### 6.2.5.4.6.1 Substitutionsbewegungen

Bild 6.75 gibt einen Überblick über die Marktentwicklung der ölbefeuerten Heizungen sowie der Wärmepumpenheizungen. Mit einer Verzögerung von 3 Jahren (1976), erfolgt als Reaktion auf die erste Ölpreiskrise die eigentliche Markteindringung der Wärmepumpen, vorher wurden sie nur in äußerst geringen Stückzahlen abgesetzt. Der Aufwärtstrend wurde durch die zweite Ölpreiskrise deutlich verstärkt, doch schon 1981 wurde die Markteindringungsphase erheblich gestört und es kam zu einer rückläufigen Bewegung.

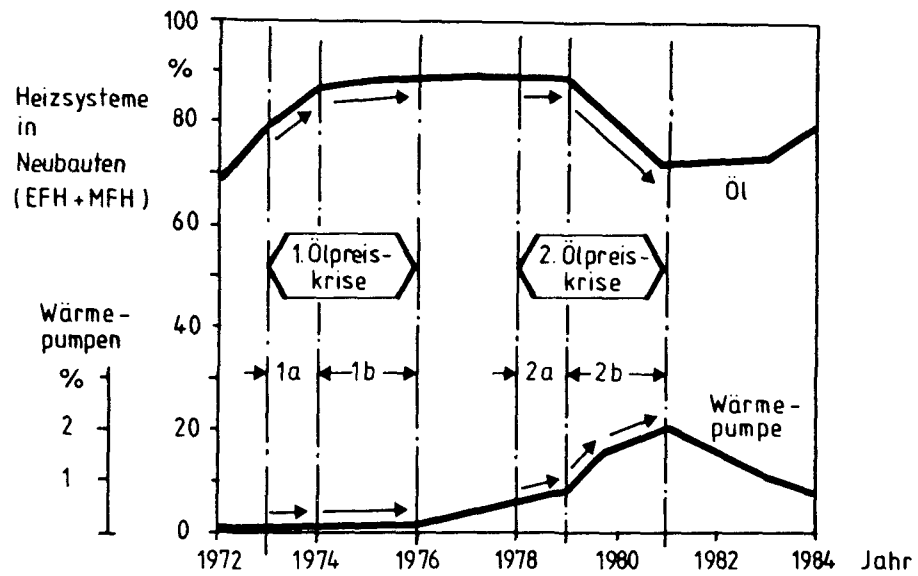


Bild 6.75: Neubaumarktanteile (Wohnungen) für Ölheizungen und Wärmepumpen in Versorgungsgebieten mit dominierender Heizölversorgung  
a) Vorlaufzeit b) Reaktionszeitraum  
EFH - Einfamilienhaus MFH - Mehrfamilienhaus

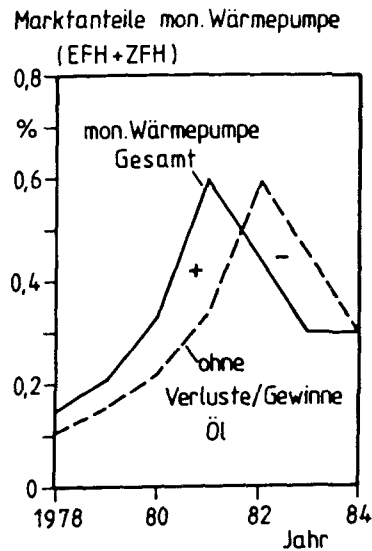


Bild 6.76: Marktanteile für monovalente Wärmepumpen bei direktem Wettbewerb mit dem Heizöl

In Bild 6.76 sind die geschätzten Substitutionsbewegungen für monovalente Wärmepumpen und Ölkessel dargestellt. Der Anteil monovalenter Wärmepumpen am gesamten Wärmepumpenanteil wurde mit 30 % angenommen.

#### 6.2.5.4.6.2 Verbraucherreaktion

##### a) Energiekosten

Die Entwicklung der Energiekosten für die beiden Vergleichssysteme sowie die Wachstumsraten aufgrund der Substitutionsbewegungen (bezogen auf den Marktführer Heizöl) sind in Bild 6.77 aufgeführt. Der Test der Nullhypothese ( $H_0$ ) zeigt einen klaren Zusammenhang zwischen Kostenentwicklung und Verbraucherreaktion, die Nullhypothese kann verworfen werden. Die Überprüfung der Arbeitshypothese  $H_1$  (rationale Entscheidung) führt zu dem Schluß, daß sie nicht verworfen werden kann. Käufer, die als Kriterien ihrer rationalen Entscheidung Energiekosten gewählt haben, wurden durch die Entwicklung bestätigt.

Die Energiekosten liegen für alle Varianten robust unter denen des Ölpreises. Der Vergleich der Wachstumsrate der Marktentwicklung und der Kostenrelationen (Bild 6.77 - untere Grafik) zeigt, daß die Verbraucher auf die zweite Ölpreiskrise direkt reagiert haben (Kurve C).

Die Energiekostenentwicklung nach der ersten Ölpreiskrise ist von der Wärmepumpenwirtschaft in ihren Informationsbroschüren als wesentliches Motiv zur Wahlentscheidung herausgestellt worden, Vollkostenrechnungen wurden in den verfügbaren Schriften nicht durchgeführt (vgl. /6.46 - 6.50/). Infolge der günstigen Energiekostenrelationen waren Vorteile für Wärmepumpen auch bei statischer Rechnung gegeben, während dynamische Berechnungen zu erheblichen Energiekosteneinsparungen je nach Betrachtungszeitraum führten, die beim Verbraucher das Gefühl einer außerordentlichen Vorteilhaftigkeit der Wärmepumpen erwecken mußten.

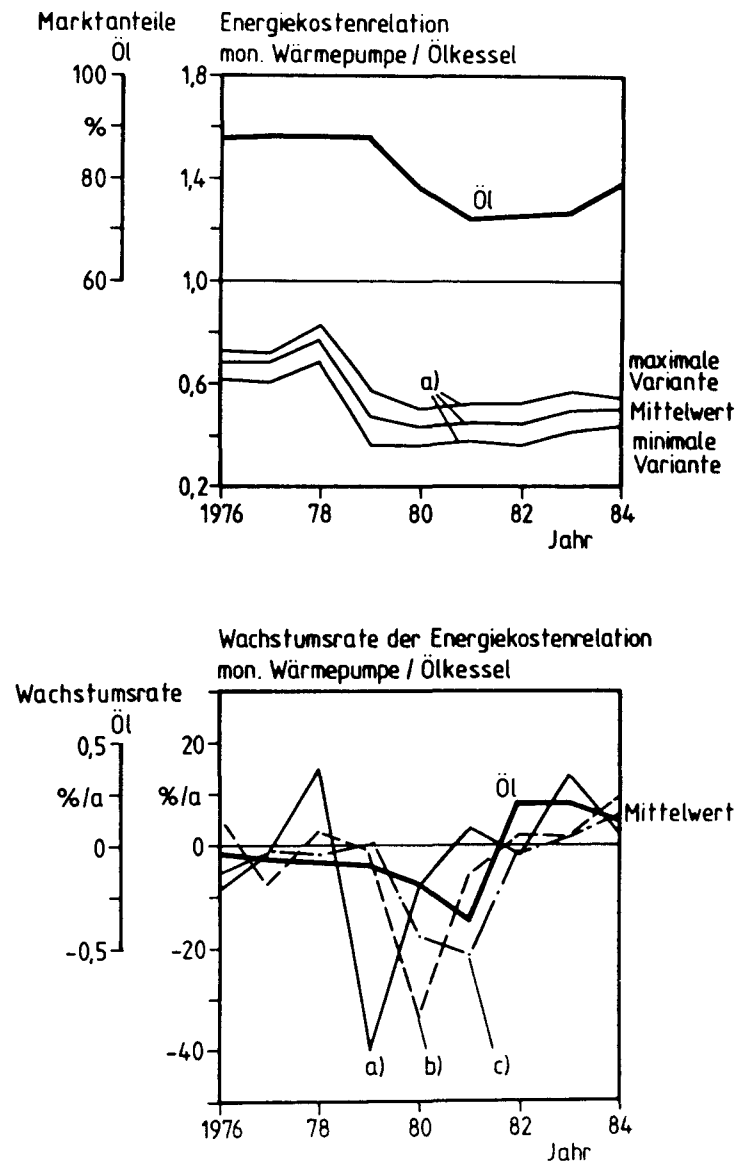


Bild 6.77: Entwicklung der Energiekostenrelationen zwischen monovalenter Wärmepumpe und Ölkessel (obere Grafik) und Entwicklung der Wachstumsraten dieser Kostenrelationen (untere Grafik) sowie Entwicklung der Marktanteile des Heizöls (obere Grafik) und der Wachstumsraten des Heizöls bezogen auf die Zugewinne und Verluste zwischen beiden Systemen (untere Grafik)

- Kostenrelationen: extreme Werte und Mittelwert für Ein-, Zweifamilienhausbereich
- a) 1-Jahresmittel
- b) gewichtetes 2-Jahresmittel
- c) gewichtetes 3-Jahresmittel

Annahmen: Tab. 6.9

b) Gesamte Heizkosten

Auch auf der Basis von Vollkostenrechnungen war es möglich, bei extrem optimistischer Einschätzung der Wärmepumpe eine Vorteilhaftigkeit für dieses System zu errechnen (minimale Variante in Bild 6.78 - obere Grafik). Inwieweit von dieser Möglichkeit Gebrauch gemacht wurde, konnte nicht festgestellt werden. Aufgrund der fehlenden Planungsunterlagen ist es nicht auszuschließen, daß Bewertungskriterien für konventionelle Systeme auf Wärmepumpen übertragen wurden. Die Elektrizitätswirtschaft hat sich jedoch für die etwas weniger optimistische Einschätzung (entsprechend der mittleren Variante) bei statischer Rechnung entschieden. Auf dieser Basis war aus rein ökonomischen Motiven eine Entscheidung für Wärmepumpen nicht mehr zu fordern. Dies ist besonders bei der pessimistischen Einschätzung (maximale Variante) der Fall. Für die beiden unvorteilhaften Varianten ließ sich jedoch bei dynamischer Vorausschätzung der Kosten zumindest die Gleichwertigkeit nachweisen.

Wird unterstellt, daß die mittlere Variante Basis der Berechnungen ist, so ergeben sich notwendige Ölpreissteigerungen, die mit den beobachteten Werten der Vergangenheit belegbar waren. Wenn der Käufer nach diesen Rechnungen entschied, so war seine Entscheidung als rational begründet anzusehen. Auszuschließen ist dies jedoch auf der Basis der maximalen Variante, da die notwendigen Ölpreissteigerungen nur über kurze Betrachtungszeiträume ermittelt werden konnten. Andererseits wird die Markteinführung eines Produktes von Pionierkäufern getragen, die sich häufig für ein Produkt entscheiden, auch wenn es noch nicht wirtschaftlich ist /6.12/. Danach könnte die Entscheidung auch unter relativ ungünstigen Ausgangsbedingungen für Wärmepumpen gefallen sein. Die Schicht dieser Pionierkäufer ist jedoch sehr dünn. Wenn ein zusätzlicher Impuls nach der zweiten Ölpreiskrise durch schnelle Nachahmer erfolgen sollte, die sich stärker an ökonomischen Gesichtspunkten orientieren, so wird aus dieser Sicht der Rückgang der Wärmepumpenanteile verständlich, da sich die ökonomischen Ausgangsbedingungen für die Wärmepumpen durch Ölpreisstagnation und auch durch erhöhte Wärmeschutzanforderungen generell verschlechterten.

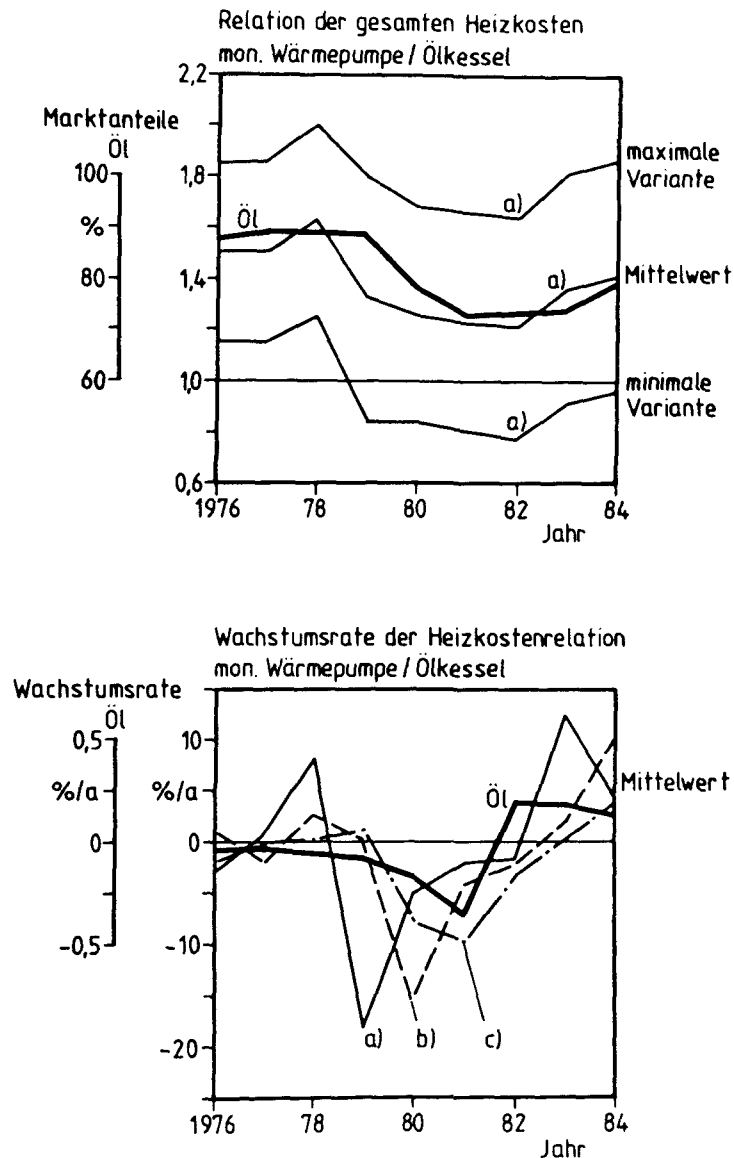


Bild 6.78: Entwicklung der Kostenrelationen (gesamte Heizkosten) zwischen monovalenter Wärmepumpe und Ölkessel (obere Grafik) und Entwicklung der Wachstumsraten dieser Kostenrelationen (untere Grafik) sowie Entwicklung der Marktanteile des Heizöls (obere Grafik) und der Wachstumsraten des Heizöls bezogen auf die Zugewinne und Verluste zwischen diesen beiden Systemen (untere Grafik)

- Kostenrelationen: extreme Werte und Mittelwert für Ein-, Zweifamilienhausbereich
- a) 1-Jahresmittel
- b) gewichtetes 2-Jahresmittel
- c) gewichtetes 3-Jahresmittel

Annahmen: Tab. 6.9

#### 6.2.5.5 Heizkostenvergleich zwischen bivalenter Außenluft-Elektrowärmepumpe und Ölkessel

##### 6.2.5.5.1 Sensitivitätsanalyse

Die Parametervariation zur Ermittlung der wichtigsten Einflußgrößen für den Heizkostenvergleich zwischen bivalenter Außenluft-Elektrowärmepumpe und Ölkessel weicht nur wenig von dem Vergleich des Ölkessels mit der monovalenten Wärmepumpe ab. Da sowohl der steuerbegünstigte Anteil als auch der der erhöhten Risikobewertung unterliegende Teil in diesem Fall etwas geringer sind, erreicht die Abweichung der Differenzkosten zwischen den Vergleichssystemen nicht ganz die Höhe des vorherigen Vergleichs (s. Tab. 6.10 und Bild 6.79), die Rangfolge bleibt jedoch erhalten.

##### 6.2.5.5.2 Spannbreite der Heizkosten

Bild 6.80 gibt einen Überblick über die Entwicklung der Kostenrelationen und ihre Spannbreite für die drei nach Tab. 10 definierten Varianten. Die maximale Variante bezieht sich auf eine pessimistische Bewertung der Wärmepumpe bei optimistischer Einschätzung des Ölkessels (Reihenhaus -  $100 \text{ m}^2$ ). In der mittleren Variante werden die Basiswerte für beide Systeme zugrundegelegt (Einfamilienhaus -  $140 \text{ m}^2$ ). Für die minimale Variante wird von einer optimistischen Bewertung der Wärmepumpe und einer pessimistischen Einschätzung des Ölkessels ausgegangen (Zweifamilienhaus -  $190 \text{ m}^2$ ).

Die Entwicklung der Energiekostenrelationen zeigt drei Phasen. In der ersten Phase (bis 1973) bestehen Kostenvorteile für den Ölkessel. Erst nach der ersten Ölpreiskrise gibt es Kostenvorteile für die bivalente Elektrowärmepumpe, die mit der dritten Phase (nach der zweiten Ölpreiskrise) auf breiter Basis zu Vorteilen für die kombinierte Strom-Öl-Heizung werden. Im Vergleich zur monovalenten Wärmepumpe sind die Energiekostenvorteile geringer ausgeprägt, weil etwa ein Drittel der Energiekosten durch die Ölpreise bestimmt wird.

				Basiswert (Mittlere Variante)						Variation				Minimale Variante		Maximale Variante	
Parameter	Symbol	Einheit	Jahr	Biv. WP	Ø1	Nr.	Biv. WP	Nr.	Ø1	Biv. WP	Ø1	Nr.	Biv. WP	Ø1	Nr.	Biv. WP	Ø1
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Energiekosten	EK																
1	Energiepreis	p	DPf/kWh	1977	9.9	2.99		1	+/- .03								
2				1984	17.5	7.52		2	+/- .30								
3	Nutzungsgrad/ Arbeitszahl	$\eta/\beta$	-	1977	0.74/ 2.75	0.72	3	-/+0.25									
4				1984	0.80/ 2.75	0.78	4	-/+0.25	5	0.8/.82							
5	Klimazone	Z	-	1977			6										
6				1984			7										
7	Anteil Wärmepumpe	AW	%	1977	65		8	+/- 5									
8				1984			9										
9	Wartungskosten	WK	DM/a	1977	295	255	10	+/- 10%	12	+/- 10%							
10				1984	505	360	11		13								
11	Kapitalkosten	KP															
12	Investition	Iv	DM	1977	30190	17251	14	+/- 5%	16	+/- 5%							
13				1984	32186	18392	15		17								
14	Zins	ZS	%	1977			18										
15				1984			19	+/- 2									
16	Steuer/ Subventionen	ST	%	1977													
17				1984													
18	Risikobewertung	RS															
19	Lebensdauer	N	a	1977	15	20	21	+/- 5									
20				1984			22										
21	Instandhaltungs- satz	IS	%	1977	3.0	2.5	23	2.5/ 4.0									
22				1984			24										
23	Haustyp	HT															
24	Wohnfläche	WF	m <sup>2</sup>	1977	140		25	100	27	190							
25				1984			26		28								
26	Heizkostendifferenz																
27	Wärmepumpe - Ölkessel	DK	DM/a	1977	1725.3												
28				1984	1787.9												

Vergleichs-  
systeme

Biv. = Bivalent-alternative  
WP Luft-Elektrowärmepumpe  
Ø1 = Heizölkessel

Tab. 6.10: Parametervariation für Heizkostenvergleich  
bivalente Wärmepumpe - Ölkessel

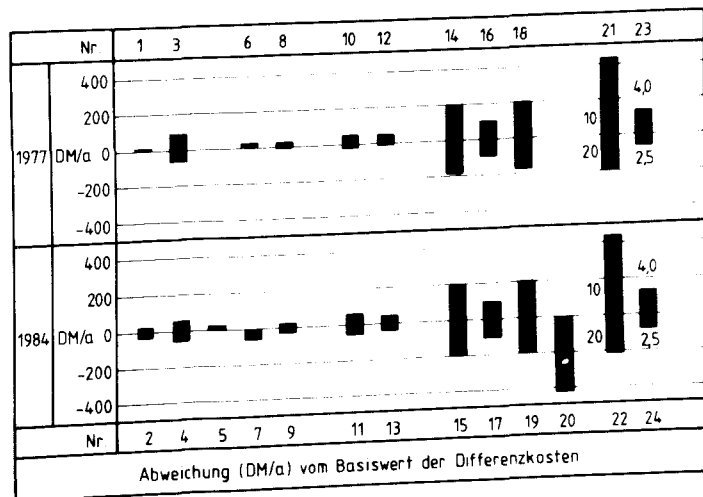


Bild 6.79: Sensitivität der Parametervariation beim Heizkosten-  
vergleich bivalente Wärmepumpe - Ölkessel



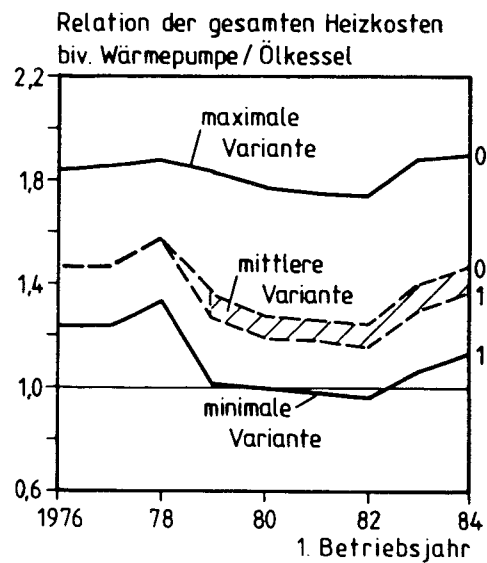
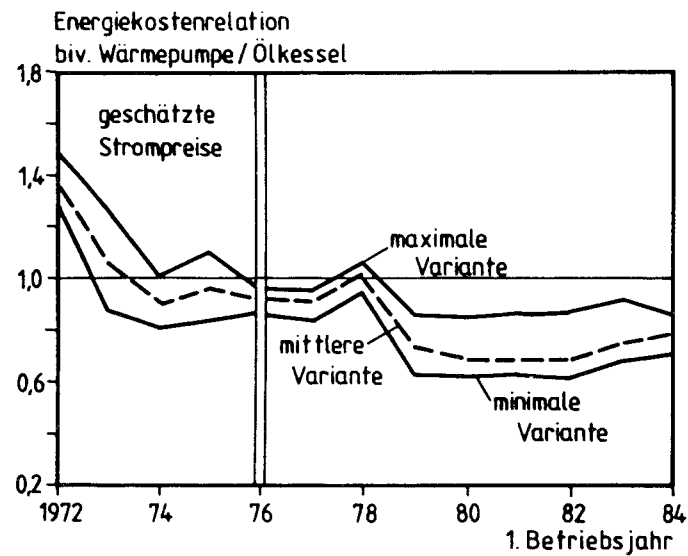


Bild 6.80: Entwicklung der Kostenrelationen zwischen bivalenter Wärmepumpe und Ölkessel im Ein-, Zweifamilienhausbereich (Neubau)

- Energiekosten (obere Grafik)
- gesamte Heizkosten (untere Grafik)

Extreme Parametervariation im Ein-, Zweifamilienhausbereich:

- maximale Variante: Reihenhaushaus
- minimale Variante: Zweifamilienhaus

Variation der Steuervorteile im Einfamilienhaus (mittlere Variante)

Die ungünstigere Entwicklung der Energiekosten wirkt sich entsprechend negativ auf die gesamten Heizkosten aus. Die äußerst optimistische Bewertung der Wärmepumpe (minimale Variante) erreicht nur mit Steuervorteilen etwa Kostengleichheit mit dem Ölkessel. Die Einbeziehung von Steuervorteilen wirkt sich bei der bivalenten Wärmepumpe im Vergleich zur monovalenten weniger aus, da ein geringerer Anteil der Investitionskosten förderfähig ist (vgl. mittlere Variante). Die pessimistische Einschätzung der Wärmepumpe ist größenordnungsmäßig vergleichbar mit dem monovalenten Typ. Hier wirkt sich der geringere Anteil der Wärmepumpe am Risikokapital aus.

Die gesamte Bewertung der drei Varianten zeigt ein breites Feld der Kostenvorteile für den Ölkessel, das nur bei Steuervorteilen und außerordentlicher geringer Risikoeinschätzung zugunsten der Wärmepumpe verengt werden kann, wie aus Bild 6.81 hervorgeht.

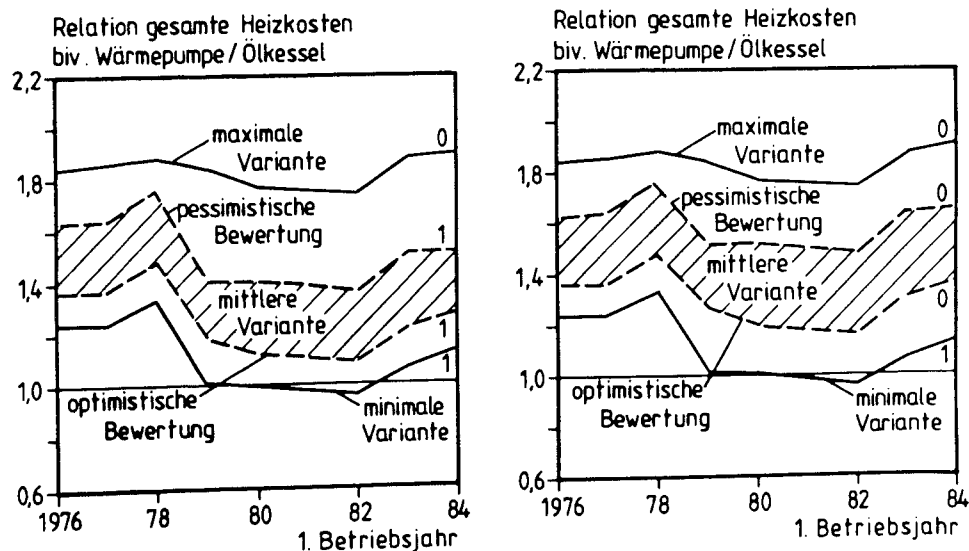


Bild 6.81: Einfluß der Steuer und der Risikobewertung auf die Kostenrelationen zwischen bivalenter Außenluft-Wärmepumpe und Ölkessel

- maximale Variante: extreme Parametervariation im Reihenhaushaus
- minimale Variante: extreme Parametervariation im Zweifamilienhaus
- mittlere Variante: für extreme Variation der Parameter Arbeitszahl, Wärmepumpenanteil, Lebensdauer und Instandhaltungssatz - sonst Basiswerte (schraffierter Bereich)

0: ohne Steuervorteile      1: mit Steuervorteilen  
weitere Annahmen: Tab. 6.10

Ohne Steuervorteile liegt die Wärmepumpe selbst bei günstiger Risikoeinschätzung der neuen Technik weit außerhalb der Wirtschaftlichkeit. Bei hoher Bewertung des Risikos erhöhen sich die Wärmepumpennachteile noch erheblich.

Für die extremen Varianten wird ein Vergleich der gesamten Heizkosten und Energiekosten in Bild 6.82 wiedergegeben. Infolge der unterschiedlichen Wärmeschutzniveaus und der jeweiligen Energiepreise ergeben sich von 1977 an zunächst wachsende Energiekostenvorteile für die Wärmepumpe (1979), die jedoch nach erheblich verändertem Heizleistungsniveau und wachsenden Strompreisen (1984) an Hebelwirkung auf die Vorteilhaftigkeit verlieren. Wie schon bei der monovalenten Wärmepumpe führt auch hier die hohe Risikobewertung der Wärmepumpe zu höheren Kosten im kleinen Haustyp (maximale Variante - Reihenhaus) als im großen Gebäude (minimale Variante - Zweifamilienhaus).

Für den mittleren Haustyp ist eine detaillierte Kostenstruktur in Bild 6.83 dargestellt. Gegenüber dem Ölkessel bestimmt bei der Wärmepumpe wiederum der Kapitaldienst den Kostenvergleich, auch die Wartungs- und Instandhaltungskosten bilden einen den Energiekosten gleichwertigen Faktor. Während die Energiekosten ständig an Bedeutung verlieren, nimmt das Gewicht der technischen Vorsorge- und Reparaturkosten ständig zu.

Kritische Werte zur Überprüfung der Annahmen und der preispolitischen Maßnahmen der Elektrizitätswirtschaft sind dem Bild 6.84 zu entnehmen. Aus beiden Grafiken wird deutlich, daß es der Wärmepumpen- und der Stromwirtschaft nicht gelungen ist, im Hinblick auf Energiepreise und Investitionskosten ein wettbewerbsfähiges Heizsystem anzubieten. Nur die unterschätzte Risikobewertung (minimale Variante) ermöglicht vorübergehend eine volle Anlegbarkeit des Strompreises, bei pessimistischer Bewertung sind dagegen erhebliche Kompensationszahlungen zu leisten, wenn dem Entscheider ein gleichwertiges Heizsystem angeboten werden soll. Praxisorientierter dürfte die mittlere Variante sein. Die Analyse der kritischen Kosten zeigt hier die erhebliche Kostendifferenz zwischen anlegbaren und kalkulierten Kosten. Daran ändert auch eine dynamische Betrachtung bzw. die Berücksichtigung von Steuervorteilen nichts.

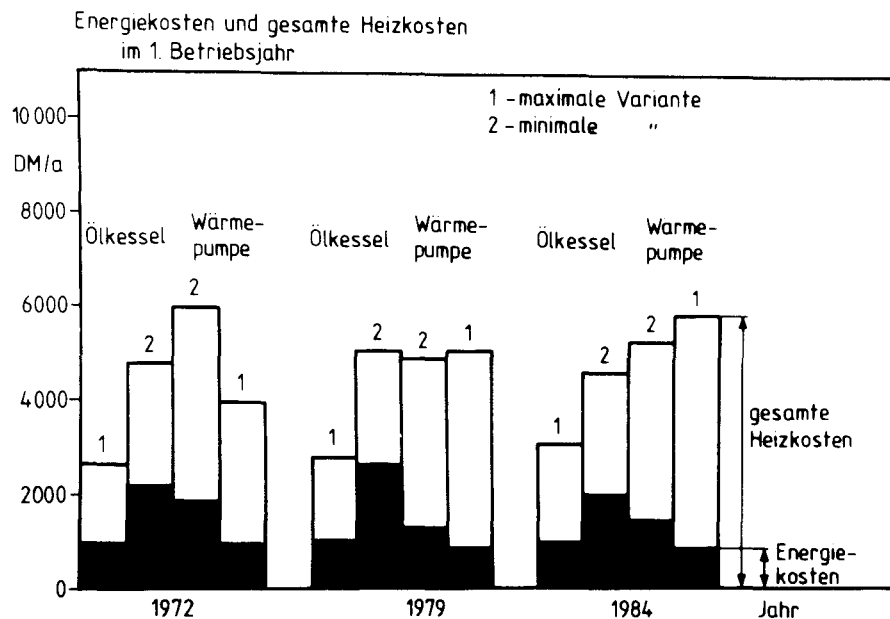


Bild 6.82: Vergleich der Energiekosten und der gesamten Heizkosten zwischen bivalenter Wärmepumpe und Ölkessel für ausgewählte Jahre (extreme Varianten)  
Anm.: 1984 verändertes Wärmeschutzniveau  
Annahmen: Tab. 6.10

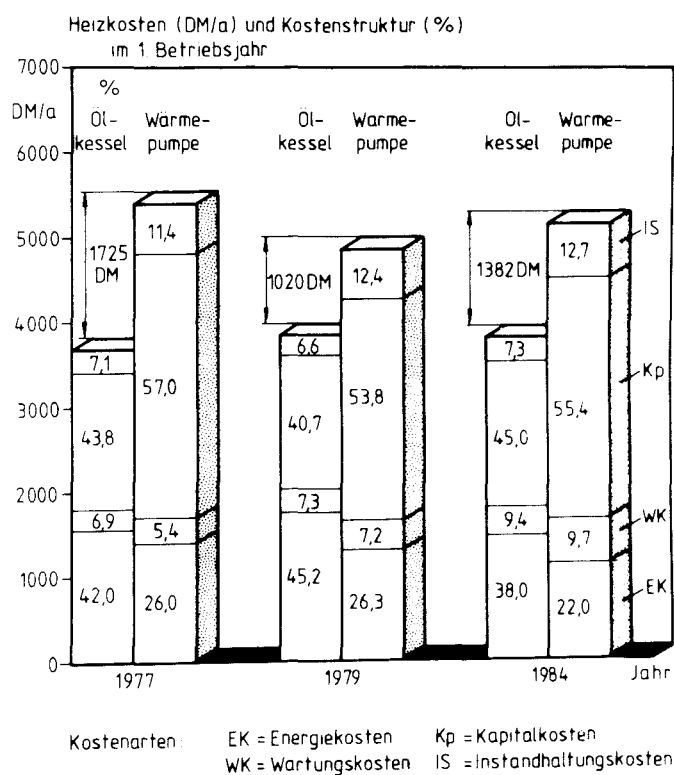


Bild 6.83: Vergleich der absoluten Heizkosten und Kostenstrukturen zwischen bivalenter Wärmepumpe und Ölkessel für ausgewählte Jahre für die mittlere Variante (mit Steuervorteilen)  
Annahmen: Tab. 6.10

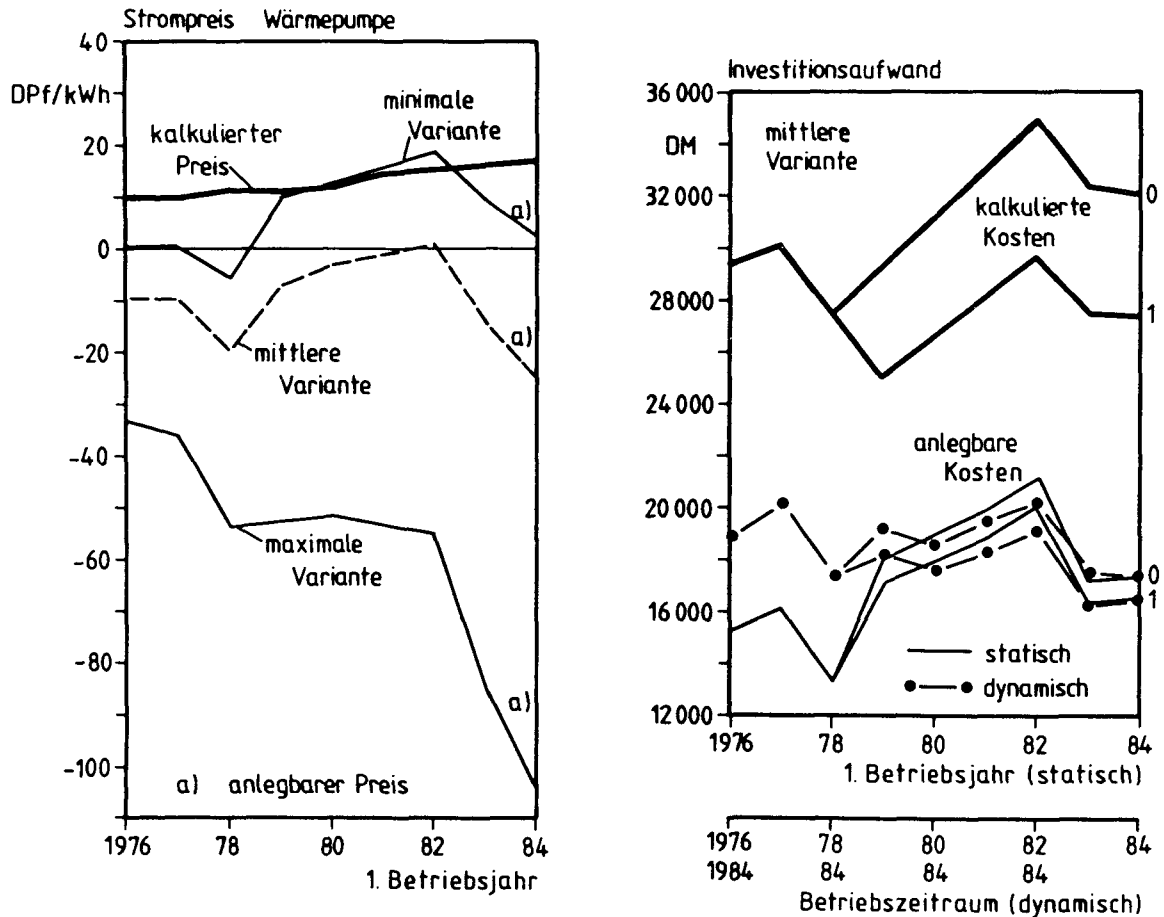


Bild 6.84: Kritische Werte aus Heizkostenvergleich zwischen bivalenter Wärmepumpe und Ölkessel

- anlegbarer und kalkulierter Wärmepumpenstrompreis bei statischer Rechnung für drei Varianten (linke Grafik)
- anlegbare und kalkulierte Kosten bei statischer und dynamischer Rechnung für mittlere Variante (rechte Grafik)

0: ohne Steuervorteil; 1: mit Steuervorteilen  
 1978, 1983 und 1984 geändertes Heizleistungsniveau  
 Annahmen: Tab. 6.10

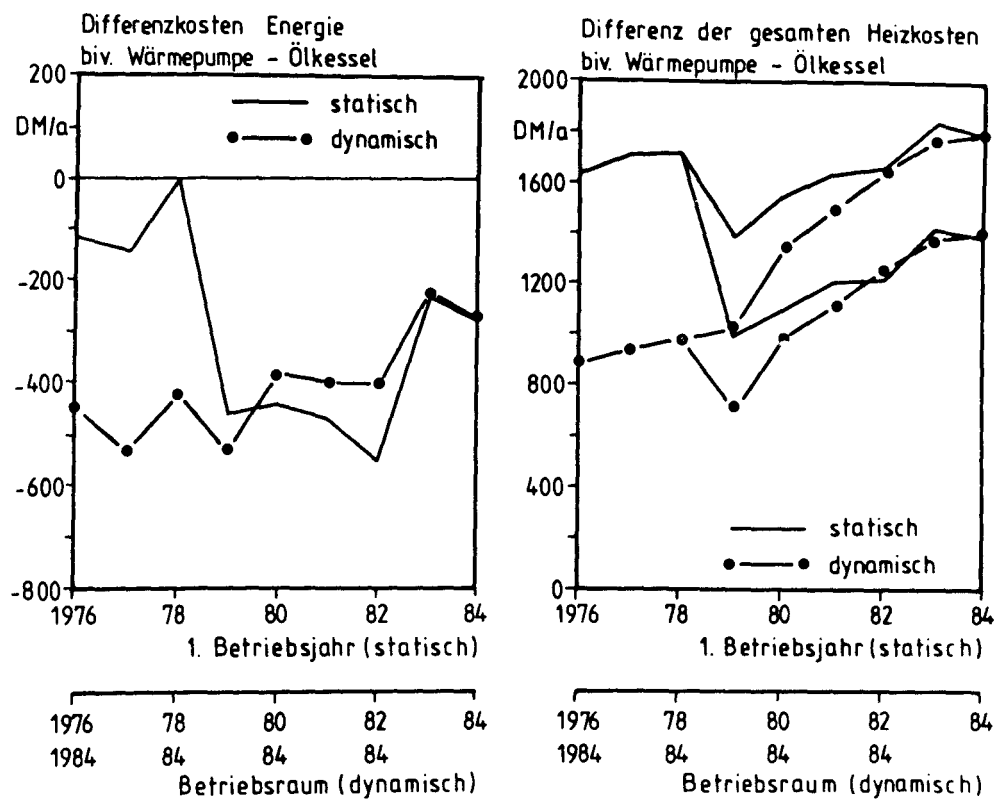


Bild 6.85: Entwicklung der Differenzkosten zwischen bivalenter Wärmepumpe und Ölkessel für mittlere Variante bei statischer und dynamischer Rechnung

- Energiekosten (linke Grafik)
- gesamte Heizkosten (rechte Grafik)

0: ohne Steuervorteile; 1: mit Steuervorteilen  
 1978, 1983 und 1984 geändertes Heizleistungsniveau  
 Annahmen: Tab. 6.10

Für diesen Fall ist in Bild 6.85 die Entwicklung der Differenzkosten zwischen den Vergleichssystemen dargestellt. Zwischen statischer und dynamischer Rechnung gibt es lediglich für den Zeitraum vor der zweiten Ölpreiskrise wesentliche Unterschiede.

Dies hängt mit mehreren sich überlagernden Faktoren zusammen. Zum Tragen kommen sowohl der Preiseffekt, größere Energiemengen als auch ein längerer Betriebszeitraum. Für kurze Betrachtungszeiträume bei relativ geringen Energiemengen und stabilen Preisrelationen ergeben sich dagegen kaum Unterschiede.

#### 6.2.5.5.3 Dynamischer ex-ante Heizkostenvergleich

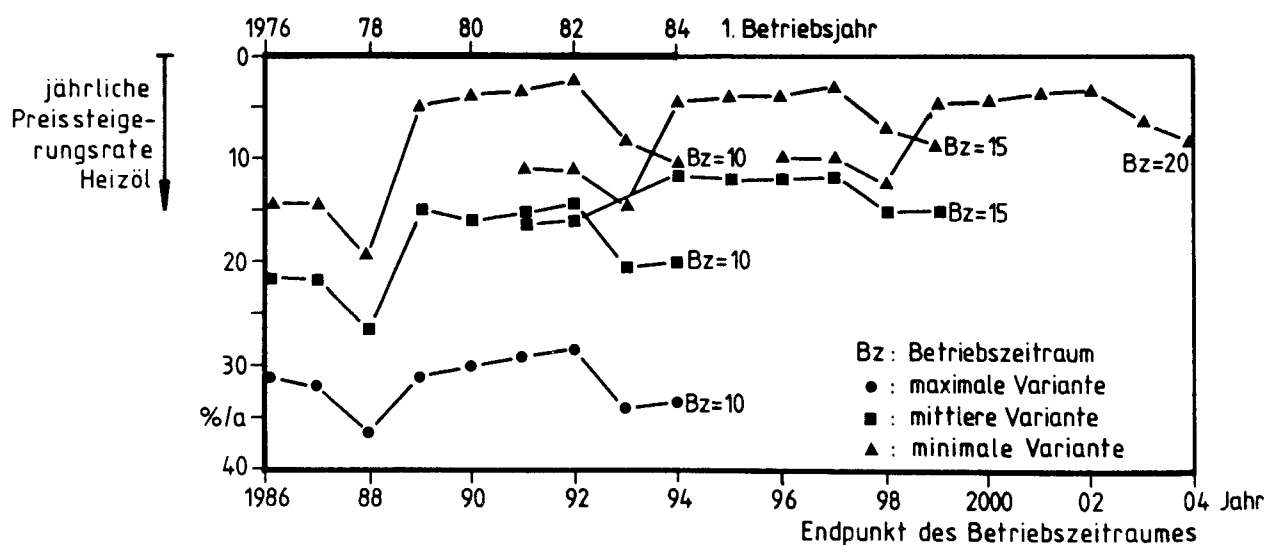


Bild 6.86: Berechnung der kritischen (nominalen) Ölpreissteigerungsrate zur Erzielung der Kostengleichheit zwischen bivalenten Wärmepumpen und Ölkesseln bei verschiedenen Betriebszeiträumen (dynamische Vorausberechnung)

- maximale Variante: pessimistische Wärmepumpenbewertung (Reihenhaus)
- mittlere Variante: durchschnittliche Einschätzung der Vergleichssysteme (Einfamilienhaus)
- minimale Variante: optimistische Wärmepumpenbewertung

Annahme: durchschnittliche Strompreissteigerungsrate 7 %/a (nominal)

Weitere Annahmen: Tab. 6.10

Wie schon beim Heizkostenvergleich zwischen monovalenter Wärmepumpe und Ölkessel wird auch in diesem Vergleich die Frage nach der kritischen Ölpreissteigerungsrate gestellt, um die Bedingungen dynamischer Vorausberechnungen an dem wichtigsten Einflußfaktor zu charakterisieren. Die Parameterwerte des jeweiligen Ausgangsjahres werden in Tab. 6.10 erläutert. Entsprechend der Risikoeinschätzung der Wärmepumpe orientieren sich die Betriebszeiträume an den angenommenen Lebensdauern der Wärmepumpe. Bei pessimistischer Einschätzung (Lebensdauer 10 Jahre) wird nur ein Betrachtungszeitraum ermittelt, der identisch mit der Betriebsdauer ist. Bei optimistischer Wertung der Wärmepumpe (20 Jahre) werden die Betriebszeiträume von 10 auf 15 bzw. 20 Jahre erhöht (s. Bild 6.86).

Bei pessimistischer Einschätzung der Wärmepumpe hätte zur Erzielung der Kostengleichheit zwischen den Vergleichssystemen eine außerordentlich hohe Ölpreissteigerungsrate angesetzt werden müssen (maximale Variante). Aber auch unter Bedingungen, die z. B. in der Stromwirtschaft vorausgesetzt werden (mittlere Variante) werden noch weit über 10 % Wachstum des jährlichen Ölpreises verlangt, allerdings konnten diese Preissteigerungsraten im Zeitraum 1972 - 1984 beobachtet werden.

Unter den äußerst optimistischen Bedingungen der maximalen Variante ließe sich eine Gleichwertigkeit der bivalenten Wärmepumpe mit dem Ölkessel bei Preissteigerungsraten von 2 - 10 %/a erreichen.

#### 6.2.5.5.4 Bewertung der bivalenten Wärmepumpe durch die Elektrizitätswirtschaft

Die Bewertung der bivalenten Wärmepumpen durch die Stromwirtschaft liegt im mittleren Bereich der Spannbreite der Differenzkosten, die durch eigene Rechnungen ermittelt wurde (Bild 6.87).



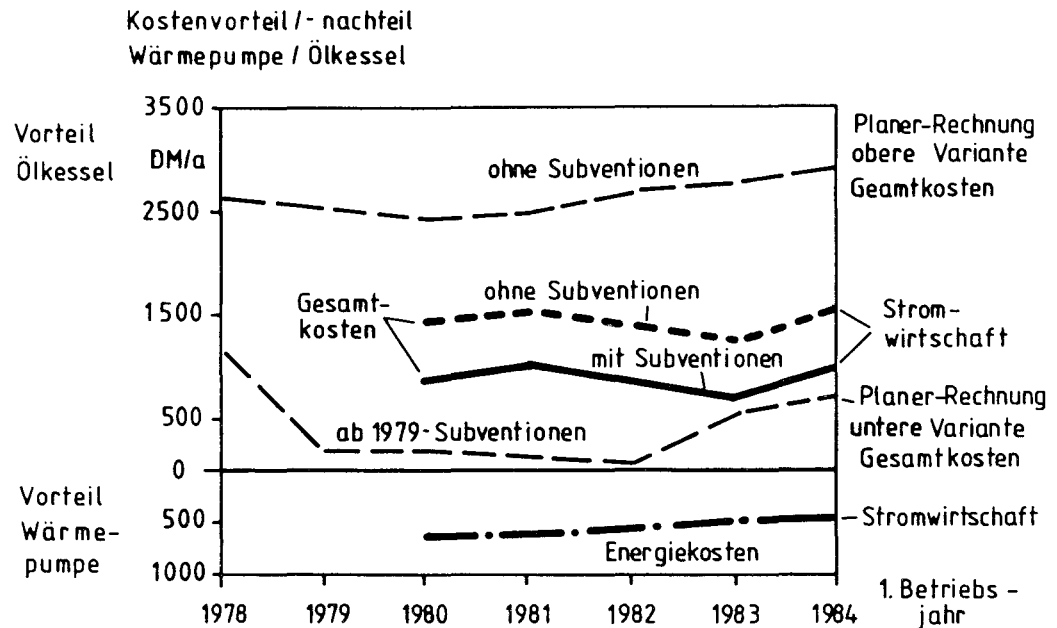


Bild 6.87: Einschätzung bivalenter Wärmepumpen im Vergleich mit dem Ölkessel nach Rechnungen der Stromwirtschaft /6.42/ bzw. eigenen Rechnungen  
Basis: Einfamilienhaus

Unterstellt wird bei diesen Rechnungen eine mittlere Risikoeinschätzung der Wärmepumpe sowie ein von der Investitionshöhe abgekoppelter Instandhaltungsaufwand. Die Ergebnisse zeigen, daß die Wärmepumpe sich bei statischer Rechnung auch aus Sicht der Interessenvertreter nicht als wirtschaftliches System bewerten läßt.

#### 6.2.5.5.5 Kostenbelastung der Haushalte

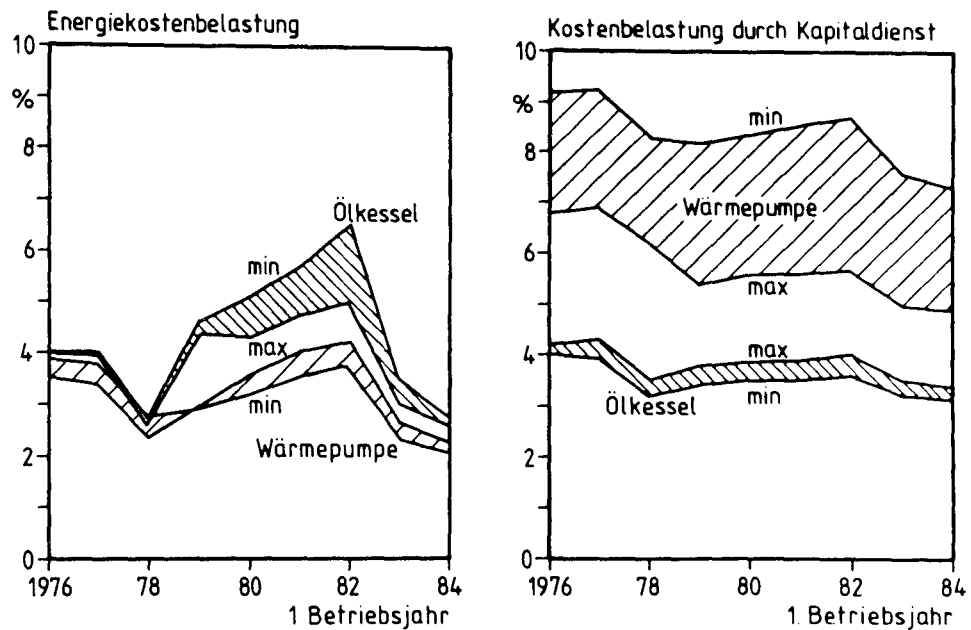


Bild 6.88: Kostenbelastung des Haushaltstyps 3 (nach Stat. Bundesamt) durch bivalente Wärmepumpen und Ölkessel im Einfamilienhaus (140qm )  
- Energiekosten (linke Grafik)  
- Kapitaldienst (rechte Grafik)  
min: minimale Variante      max: maximale Variante  
1978, 1983 und 1984 geändertes Heizleistungsniveau  
Annahmen: Werte der extremen Parametervariation  
nach Tab. 6.10 für Einfamilienhaus

Dargestellt sind wiederum die beiden gegenläufigen Kostenkomponenten, die entscheidenden Einfluß auf die Kostenrechnung haben, die Energiekosten und der Kapitaldienst. Die Kosten werden auf den privaten Verbrauch des Haushaltstyps 3 (nach der Klassifizierung des Stat. Bundesamtes) bezogen. Bei der Ermittlung der Energiekosten wird erneut eine Vollbeheizung vorausgesetzt. Dann ergibt sich die in der linken Grafik des Bildes 6.88 dargestellte Energiekostenbelastung. Der geringere Einspar-effekt der bivalenten Wärmepumpe gegenüber der monovalenten Wärmepumpe ist eindeutig (vgl. Bild 6.74). Von der Kapitalkostenseite ergibt sich dagegen eine etwas geringere Belastung.

Von der Energiekostenseite bietet die generell einsetzbare bivalente Außenluft-Elektrowärmepumpe ab 1978 zwar deutliche Vorteile gegenüber dem Ölkessel, aber der entschieden höhere Kapitaldienst dürfte wesentlich dazu beitragen, daß die Käufer sich bisher nur in geringem Maße für Wärmepumpen entschieden haben. Erschwerend für die Wärmepumpen kommt hinzu, daß die Energiekosten von starken Schwankungen geprägt werden, während die Kapitalkosten als sicheres Datum anfallen.

#### 6.2.5.5.6 Verbraucherentscheidung

##### 6.2.5.5.6.1 Substitutionsbewegungen

Die Substitution des Ölkessels durch bivalente Wärmepumpen entspricht von den Wanderungsbewegungen her dem Vergleich der monovalenten Wärmepumpe mit dem Ölkessel, allerdings sind die Substitutionsbewegungen etwas ausgeprägter (s. Bild 6.89). Zwischen den Ölpreiskrisen gibt es langsam ansteigende Zugewinne vom Heizöl, die sich nach der zweiten Ölpreiskrise zunächst erhöhen, dann aber schlagartig zurückgehen.

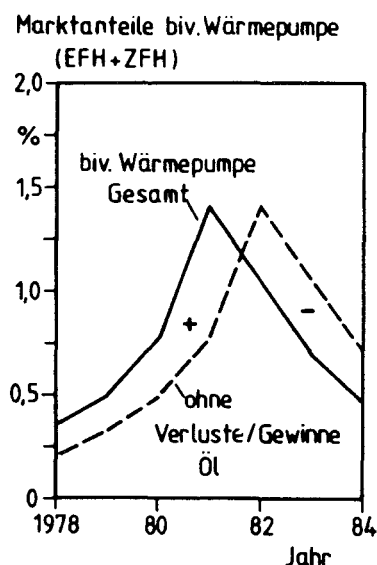


Bild 6.89: Marktanteile bivalenter Wärmepumpen (Neubauwohnungen) bei direktem Wettbewerb mit dem Ölkessel

#### 6.2.5.5.6.2 Verbraucherreaktion

Ebenso wie beim Vergleich des Ölkessels mit der monovalenten Wärmepumpe ist auch hier ein Zusammenhang zwischen Kostenentwicklung und Verbraucherreaktion deutlich erkennbar (Verwerfen der Nullhypothese) (s. Bilder 6.90 und 6.91). Sowohl von der Energiekostenseite als auch bei Berücksichtigung der gesamten Heizkosten lassen sich keine wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Wärmepumpensystemen und dem Ölkessel ableiten. Die Verbraucherreaktion wurde in beiden Fällen auf eine gemeinsame Substitutionsbewegung bezogen, da es für unterschiedliche Bewegungen keine Anhaltspunkte gibt.

Auch zwischen den Wachstumsraten beider Wärmepumpensysteme und dem Ölkessel gibt es weder von der Energiekostenseite noch von der Vollkostenseite wesentliche Unterschiede. Die bivalente Wärmepumpe weist insgesamt geringere Energiekostenvorteile auf (vgl. Bild 6.71 mit Bild 6.85), während die Gesamtkosten robust über den Kosten des Ölkessels liegen, die monovalente Wärmepumpe konnte hingegen bei extrem optimistischer Einschätzung auch bei der Vollkostenbetrachtung noch als vorteilhaft bewertet werden. Obwohl bei dynamischer ex-ante Rechnung Kostenvorteile bzw. Kostengleichheit mit dem Ölkessel bei plausiblen Ölpreissteigerungsraten errechnet werden konnten (vgl. Bild 6.86), hat der hohe Investitionsaufwand eine Expansion dieser innovativen Technik bisher erheblich erschwert. Da selbst die Stromwirtschaft keine Wettbewerbschancen für die bivalente Elektrowärmepumpe nachweisen konnte, blieben diese Rechnungen verständlicherweise nur der internen Verwendung vorbehalten (vgl. Bild 6.87). Sowohl für die monovalente als auch für die bivalente Wärmepumpe wurde offenbar zunächst nur der Bereich der Pionierkäufer erreicht, der sich bekanntlich auch unter unsicheren Randbedingungen für die innovative Technik entschieden hat.

Für eine Expansion des Wärmepumpenmarktes haben sich infolge der verringerten Heizleistung bei erhöhten Wärmeschutzaufgaben die Absatzbedingungen zu Ende des Betrachtungszeitraumes eher verschlechtert, da bei relativ starrem Investitionsaufwand die Vorteile der Energiekosteneinsparung immer geringere Wirkung zeigen.

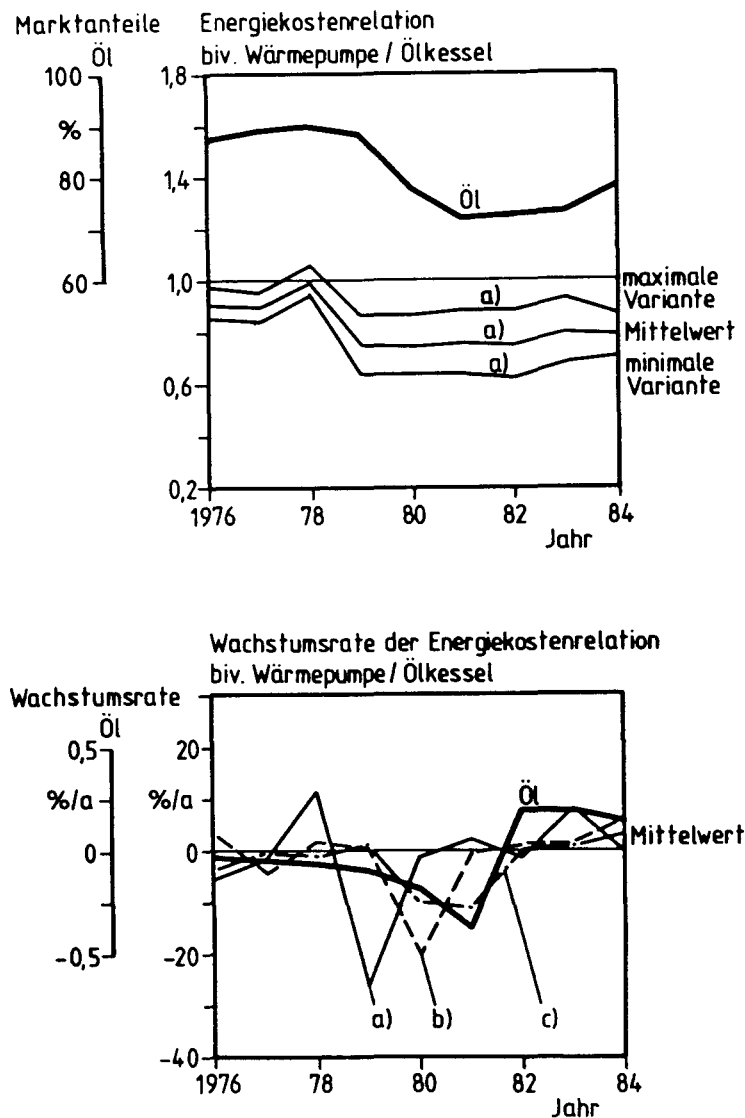


Bild 6.90: Entwicklung der Energiekostenrelationen zwischen bivalenter Wärmepumpe und Ölkessel (obere Grafik) und Entwicklung der Wachstumsraten dieser Kostenrelationen (untere Grafik) sowie Entwicklung der Marktanteile des Heizöls (obere Grafik) und der Wachstumsraten des Heizöls bezogen auf die Zugewinne und Verluste zwischen diesen beiden Systemen (untere Grafik)

- Kostenrelationen: extreme Werte und Mittelwert für Ein-, Zweifamilienhausbereich
- a) 1-Jahresmittel
- b) gewichtetes 2-Jahresmittel
- c) gewichtetes 3-Jahresmittel

Annahmen: Tab. 6.10

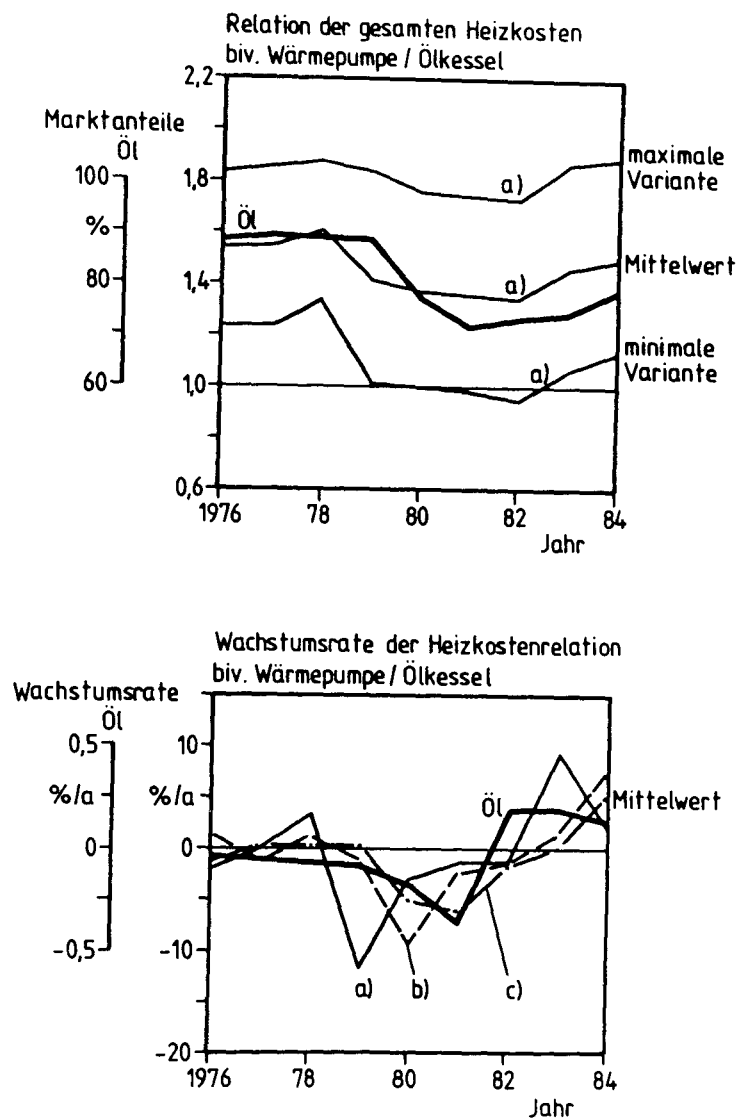


Bild 6.91: Entwicklung der Kostenrelation (gesamte Heizkosten) zwischen bivalenter Wärmepumpe und Ölkessel (obere Grafik) und Entwicklung der Wachstumsraten dieser Kostenrelationen (untere Grafik) sowie Entwicklung der Marktanteile des Heizöls (obere Grafik) und der Wachstumsraten des Heizöls bezogen auf die Zugewinne und Verluste zwischen diesen beiden Systemen (beide Grafiken)

- Kostenrelationen: extreme Werte und Mittelwert für Ein-, Zweifamilienhausbereich

a) 1-Jahresmittel

b) gewichtetes 2-Jahresmittel

c) gewichtetes 3-Jahresmittel

Annahmen: Tab. 6.10

#### 6.2.6 Versorgungsgebiete mit dominierender Fernwärmeversorgung

Da Fernwärmeversorgungsgebiete überwiegend in Zonen hoher Bebauungsdichte liegen, kommt der Betrachtung des Ein- und Zweifamilienhausbereiches für diese Versorgungssituationen nur eine geringere Bedeutung zu. Auf der anderen Seite ist die Übertragbarkeit der Ergebnisse vom Mehrfamilienhausbereich auf Ein- und Zweifamilienhaushäuser nur in erster Näherung möglich. Während die Spannbreite der Heizkosten analog zu den vorherigen Heizkostenvergleichen abgeleitet werden kann, ist die Verbraucherreaktion nur unter Vorbehalt übertragbar.

##### 6.2.6.1 Heizkostenvergleich Fernwärme - Heizöl

Innerhalb der Wettbewerbsfälle im Fernwärmeversorgungsgebiet ist eine Entscheidung für Heizöl in solchen Fällen anzunehmen, die für die leitungsgebundenen Energieträger Fernwärme bzw. Erdgas von geringem Interesse sind. Daher dürfte es sich bei Entscheidungen für Heizöl häufig um kleinere Gebäudeeinheiten handeln, deren Erschließung für leitungsgebundene Energieträger nur geringe Deckungsbeiträge erbracht hätte. Für diesen Heizkostenvergleich dürfte die Übertragung der Verbraucherreaktion daher weniger atypisch sein als etwa der Vergleich Fernwärme - Erdgas.

##### 6.2.6.1.1 Sensitivitätsanalyse

Als besonders sensitive Größe erweist sich bei der Parametervariation der wichtigsten Einflußgrößen (vgl. Tab. 6.11) die Veränderung des Fernwärmepreises (Bild 6.92), alle anderen Einflußgrößen sind von wesentlich geringerer Bedeutung. Dies gilt auch für die Berücksichtigung von Steuervorteilen, da der förderungsfähige Anteil nur einen geringen Anteil am gesamten Investitionsaufwand der Fernwärmeheizung ausmacht. Da die Spannbreite der Fernwärmepreise ohne feste Anbindung an bestimmte Heizölpreise beobachtet werden konnte (vgl. Kap. 5), können Fernwärmepreise und Heizölpreise frei miteinander kombiniert werden.

0	Parameter	Symbol	Einheit	Jahr	Basiswert (Mittlere Variante)		Variation					Minimale Variante		Maximale Variante	
					Fern- wärme	01	Nr.	Fern- wärme	Nr.	01		Fern- wärme	01	Fern- wärme	01
1	Energiekosten	EK			5	6	7	8	9	10		11	12	13	14
2	Energiepreis	p	DPf/kWh	1977	5.43	2.99	1	+/- .60	3	+/- .03					
3	Energiepreis	p	DPf/kWh	1984	9.95	7.52	2	+/-1.39	4	+/- .30		P <sub>min</sub>	P <sub>max</sub>	P <sub>max</sub>	P <sub>min</sub>
4	Nutzungsgrad	η	-	1977	0.96	0.72						η	η <sub>min</sub>	η	η <sub>max</sub>
5	Nutzungsgrad	η	-	1984	0.96	0.78			5	0.80					
6	Klimazone	Z	-	1977	1		6			2		1			
7	Klimazone	Z	-	1984			7								
8	Vollbenutzungs- stunden	b <sub>v</sub>	h/a	1977											
9	Vollbenutzungs- stunden	b <sub>v</sub>	h/a	1984											
10	Wartungskosten	WK	DM/a	1977	36	255	8	+/- 10%	10	+/- 10%		90 %	110 %	110 %	90 %
11	Wartungskosten	WK	DM/a	1984	48	360	9		11						
12	Kapitalkosten	KP													
13	Investition	I <sub>v</sub>	DM	1977	15012	17251	12	+/- 5%	14	+/- 5%		95 %	105 %	105 %	95 %
14	Investition	I <sub>v</sub>	DM	1984	18687	18392	13		15						
15	Zins	ZS	%	1977	8		16	+/- 2				8		8	
16	Zins	ZS	%	1984			17								
17	Steuer / Subventionen	ST	%	1977											
18	Steuer / Subventionen	ST	%	1984			18	25				25	-	-	-
19	Haus typ	HT													
20	Wohnfläche	WF	m <sup>2</sup>	1977	140		19	100	21	190		190		190	
21	Wohnfläche	WF	m <sup>2</sup>	1984			20		22						
22	Heizkostendifferenz														
23	Fernwärme - 01	DK	DM/a	1977	- 96.8										
24	Fernwärme - 01	DK	DM/a	1984	-382.3										
25	Vergleichs- systeme														
26	Fernwärme = Fernwärmeheizung														
27	01 = Heizölkessel														

Tab. 6.11: Parametervariation für Heizkostenvergleich  
Fernwärme - Ölkessel

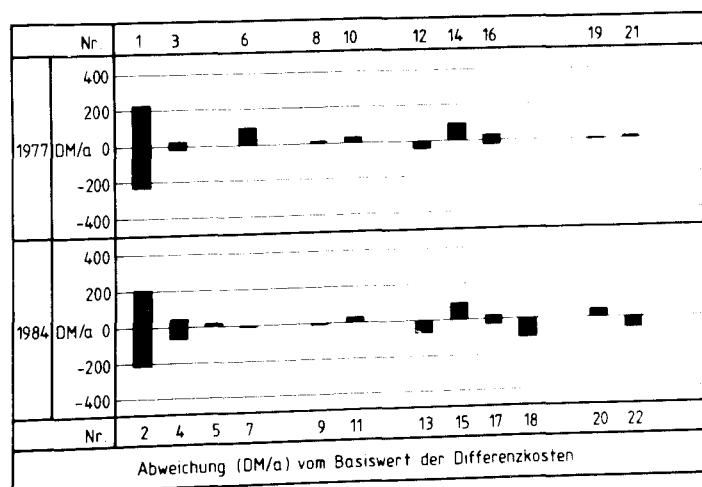


Bild 6.92: Sensitivität der Parametervariation beim Heiz-  
kostenvergleich Fernwärme - Ölkessel



#### 6.2.6.1.2 Spannbreite der Heizkosten

Die Sonderstellung der Fernwärmepreisvariation geht auch aus Bild 6.93 hervor, das neben der extremen Variation aller Parameter auch die Preisvariation für den mittleren Gebäudetyp enthält (schraffiert). Die extremen Varianten beziehen sich in diesem Fall beide auf das große Gebäude ( $190 \text{ m}^2$ ), weichen in den Relationen aber nicht sehr stark von den anderen Varianten ab.

Bis zur zweiten Ölpreiskrise lagen die Energiekosten der Fernwärme für alle Varianten robust über denen der Heizölkosten. Erst danach sind die Energiekosten im Mittel mit denen des Heizöls vergleichbar. Die Abweichungen nach oben und unten ergeben in den Extremfällen etwa gleiche Vorteile für beide Energieträger.

Unter Vollkostengesichtspunkten ist die Fernwärme dem Heizöl dagegen schon im Zeitraum 1973 bis 1978 gleichwertig (im Mittel) und erreicht ab 1979 fast über alle Varianten Vorteile, lediglich die maximale Variante liegt im Bereich der Kostengleichheit mit dem Heizöl.

Mit Hilfe des Bildes 6.94 läßt sich die Bedeutung der Fernwärmepreisentwicklung auch für absolute Kosten abschätzen.

Die detaillierte Kostenstruktur für jeweils mittlere Energiepreise bezogen auf die mittlere Variante ist in Bild 6.95 wiedergegeben. Neben den höheren Energiekosten zeigt sich hier besonders, daß die Fernwärme auch durch geringere Wartungs- und Instandhaltungskosten Vorteile gegenüber dem Ölkessel erringt. Bei mittleren Annahmebedingungen tragen diese Nebenkosten fast ausschließlich zur Kostengleichheit (bis 1977) bzw. zum Kostenvorteil (ab 1979) der Fernwärme bei.

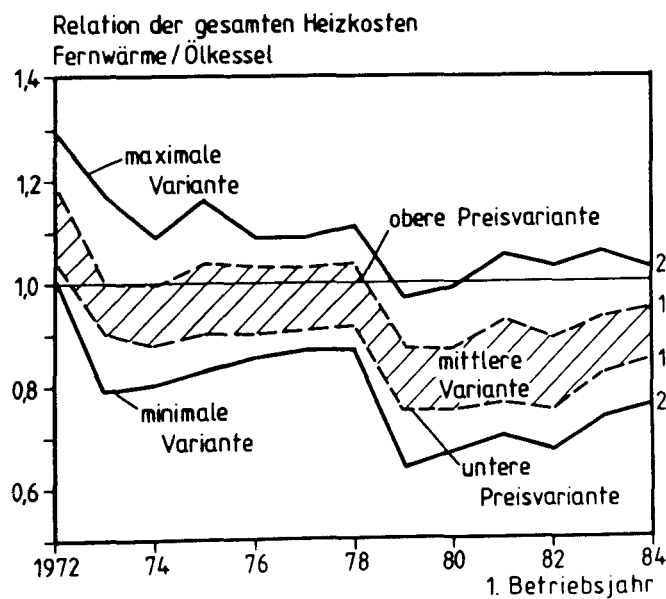
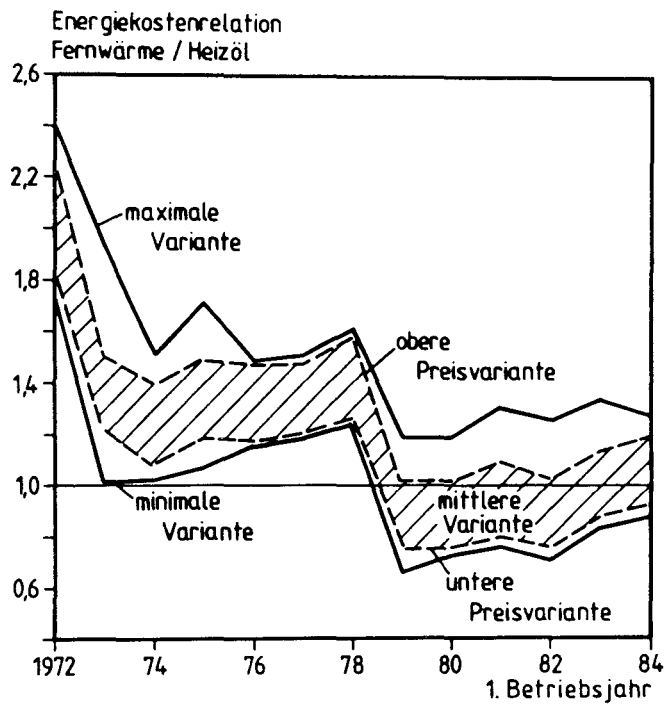


Bild 6.93: Entwicklung der Kostenrelationen zwischen Fernwärme und Ölkessel im Ein-, Zweifamilienhausbereich (Neubau)

- Energiekosten (obere Grafik)
  - gesamte Heizkosten (untere Grafik)
  - 1: Fernwärme-Preisvarianten im Einfamilienhaus (mittlere Variante)
  - 2: extreme Parametervariation im Ein-, Zweifamilienhausbereich
- Annahmen: Tab. 6.11

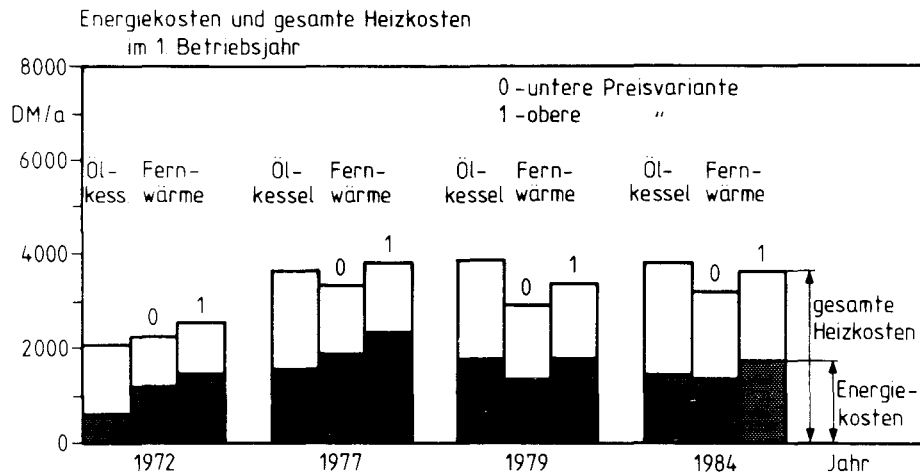


Bild 6.94: Vergleich der Energiekosten und der gesamten Heizkosten zwischen Fernwärme und Ölkessel für ausgewählte Jahre (mittlere Variante)  
Anm.: 1979 und 1984 verändertes Wärmeschutzniveau  
Annahmen: Tab. 6.11

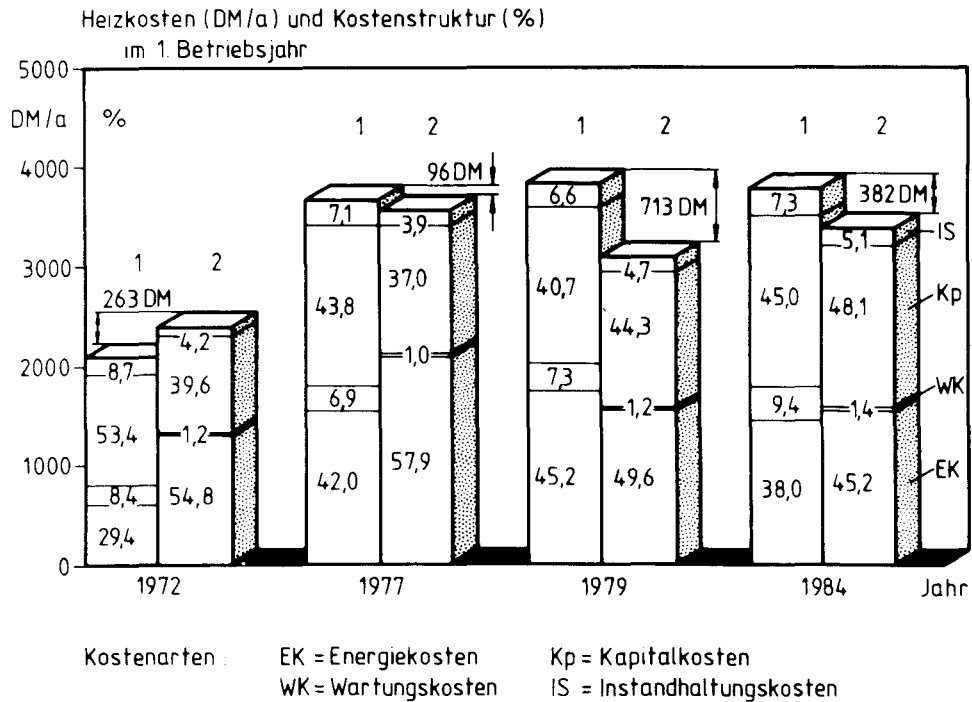


Bild 6.95: Vergleich der absoluten Heizkosten und Kostenstrukturen zwischen Fernwärme und Ölkessel (mittlere Variante - mittlerer Fernwärmepreis)  
Anm.: 1979 und 1984 verändertes Wärmeschutzniveau  
1 = Ölkessel, 2 = Fernwärme  
Annahmen: Tab. 6.11

Für die extremen Preisvarianten des Basisfalls wird aus Bild 6.96 der preispolitische Spielraum der Fernwärmeversorgungs-Unternehmen deutlich. Vor der zweiten Ölpreiskrise wurde für die obere Preisvariante die volle Anlegbarkeit des Fernwärmepreises nicht erreicht, während sie in der unteren Preisvariante deutlich unterschritten wurde. Mit der zweiten Ölpreiskrise verbesserte sich die Situation für die Fernwärmeversorgung erheblich.

Der Vergleich der kritischen mit den kalkulierten Kosten ist sowohl aus statischer als auch aus dynamischer Rechnung in Bild 6.97 dargestellt. Die statische Rechnung gibt das Bild der anlegbaren Preise wieder. Sie zeigt auch, daß ab 1979 der Investitionsaufwand erheblich über dem kalkulierten liegt, so daß statistische Unsicherheiten der Kostenerhebung in diesem Zeitraum kaum zur Geltung kommen dürften.

Die ergänzende dynamische Berechnung der anlegbaren Kosten wirkt sich für die Fernwärme vorteilhaft aus. Im Zeitraum 1972 bis 1977, als die statische Rechnung keine Anlegbarkeit der Kosten aufzeigte, erweist sich eine unter diesen negativen Bedingungen gefällte Entscheidung nachträglich als begründet.

Bild 6.98 ermöglicht eine Einschätzung der Differenzkostenvorteile bezogen auf Energiekosten bzw. gesamte Heizkosten. In der oberen Preisvariante des Basisfalls ist die Fernwärme sowohl bei Berechnung der Kosten des 1. Betriebsjahres als auch bei rückschauender dynamischer Berechnung über den ganzen Betrachtungszeitraum gegenüber dem Ölkessel im Nachteil. Erst in der unteren Preisvariante, die nach der zweiten Ölpreiskrise Preisvorteile für die Fernwärme bringt, weicht die dynamische Rechnung stärker von der statischen ab. Infolge späterer Energiekostenvorteile ergeben sich auch bei Inbetriebnahmejahren zwischen 1972 und 1978 Vorteile für die Fernwärme, der Bezug auf ein einziges Jahr wirkt sich dagegen negativ auf das Entscheidungskalkül aus.

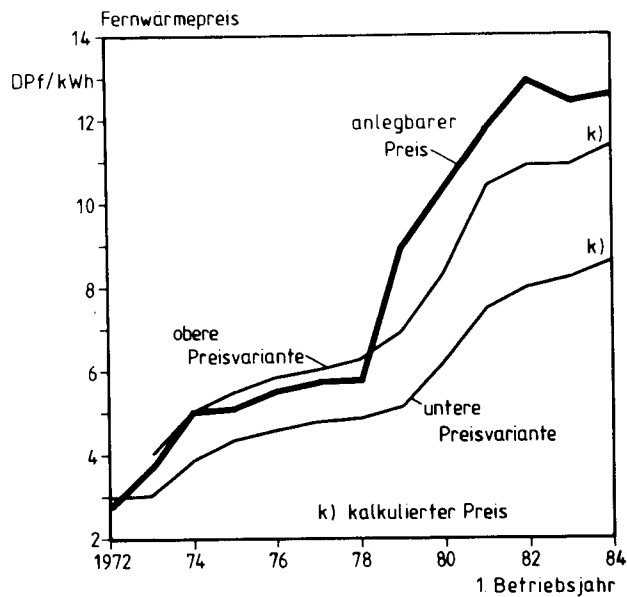


Bild 6.96: Anlegbarer und kalkulierter Fernwärmepreis aus Heizkostenvergleich zwischen Fernwärme und Ölkessel - extreme Fernwärme-Preisvarianten für Basisfall  
Annahmen: Tab. 6.11

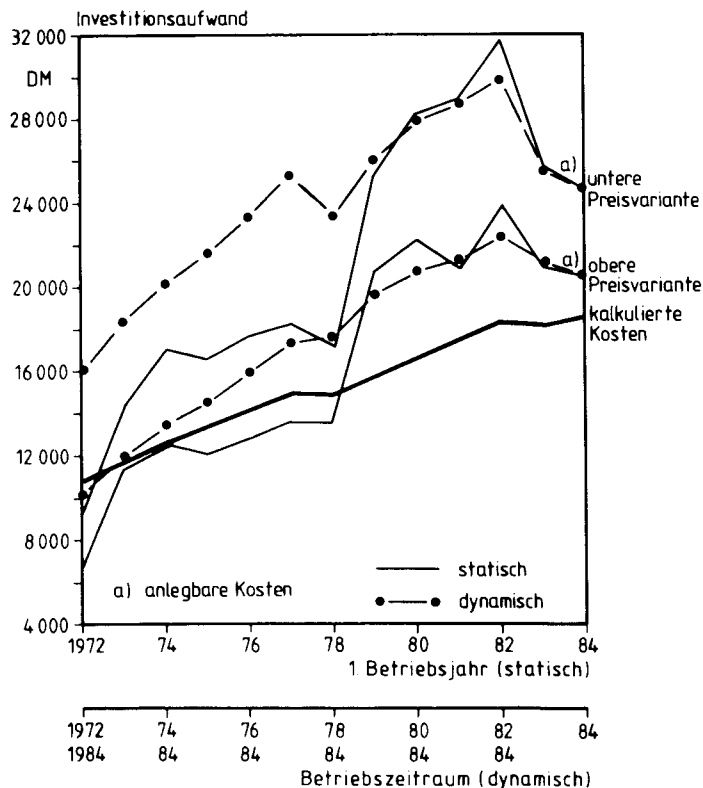


Bild 6.97: Anlegbare und kalkulierte Kosten für die Fernwärmeheizung aus Heizkostenvergleich zwischen Fernwärme und Ölkessel bei statischer und dynamischer Rechnung - extreme Preisvarianten für Basisfall  
- 1978, 1983 und 1984 verändertes Heizleistungsniveau  
Annahmen: Tab. 6.11

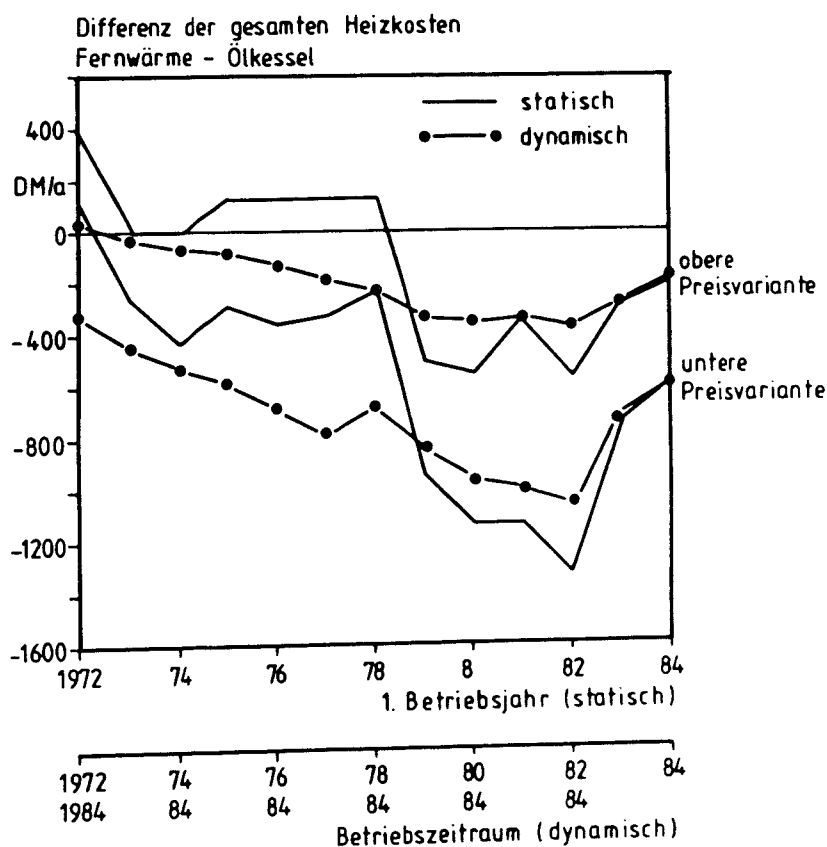
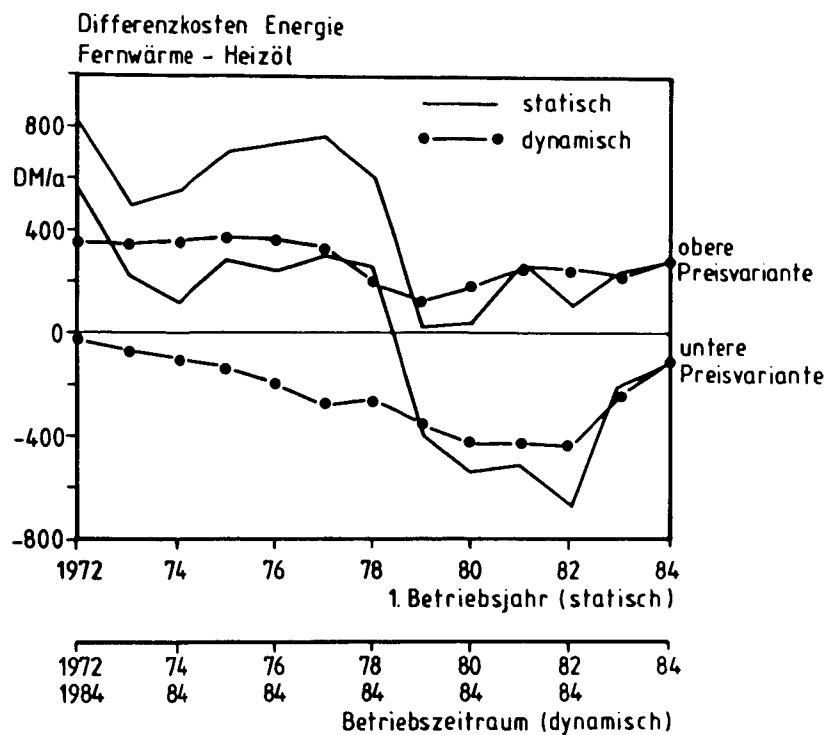


Bild 6.98: Entwicklung der Differenzkosten zwischen Fernwärme und Ölkessel für extreme Fernwärme-Preisvarianten des Basisfalls bei statischer und dynamischer Rechnung  
- Energiekosten (obere Grafik)  
- gesamte Heizkosten (untere Grafik)  
Anm.: 1978, 1983 und 1984 verändertes Heizleistungsniveau

Annahmen: Tab. 6.11

Neben der vorteilhaften Energiekostenentwicklung wirken sich die geringen Wartungs- und Instandhaltungskosten positiv auf die Differenz der gesamten Heizkosten für die Fernwärme aus (s. Bild 6.98). Auf den Basisfall bezogen ist die Fernwärme selbst bei extrem negativer Variation des Fernwärmepreises bis auf die statische Rechnung der oberen Preisvariante (1975 - 1978) stets das günstigere Heizsystem.

#### 6.2.6.1.3 Verbraucherentscheidung

##### 6.2.6.1.3.1 Substitutionsbewegungen

Aus Bild 6.99 geht hervor, daß Heizöl in Versorgungsgebieten mit dominierender Fernwärmeversorgung nur zu Anfang des Betrachtungszeitraumes noch nennenswerte Marktanteile in Neubauwohnungen besaß. Bereits nach der ersten Ölpreiskrise war der Prozeß der Substitutionsbewegungen zwischen diesen beiden Energieträgern weitgehend beendet (vgl. Bild 6.100).

##### 6.2.6.1.3.2 Verbraucherreaktion

###### a) Energiekosten

Eine Reaktion der Verbraucher für Fernwärme auf die sich verbessernden Kostenrelationen ist in Bild 6.101 deutlich erkennbar (nach der ersten Ölpreiskrise). Die Bewegungen nach der ersten Ölpreiskrise sind unbedeutend. Spielraum für weitere positive Entwicklungen der Fernwärme war nicht mehr gegeben, da Heizöl bereits fast ganz verdrängt war. Aufgrund der sich ergebenden Zusammenhänge läßt sich die Nullhypothese (kein Zusammenhang zwischen Kostenentwicklung und Verbraucherreaktion) somit verwerfen. Da die Fernwärme-Versorgungs-Unternehmen die Beratung unter Vollkostengesichtspunkten durchführten, dürften sich in erster Linie Entscheider nach Energiekosten gerichtet haben, die sich nicht für Fernwärme, sondern für Heizöl entschieden haben. Nach diesem Kriterium war ihre Entscheidung bis 1978 rational begründet. Danach galt dies nur noch für den Entscheidungsbereich zwischen maximaler Variante und Mittelwert (vgl. Bild 6.101 - obere Grafik).

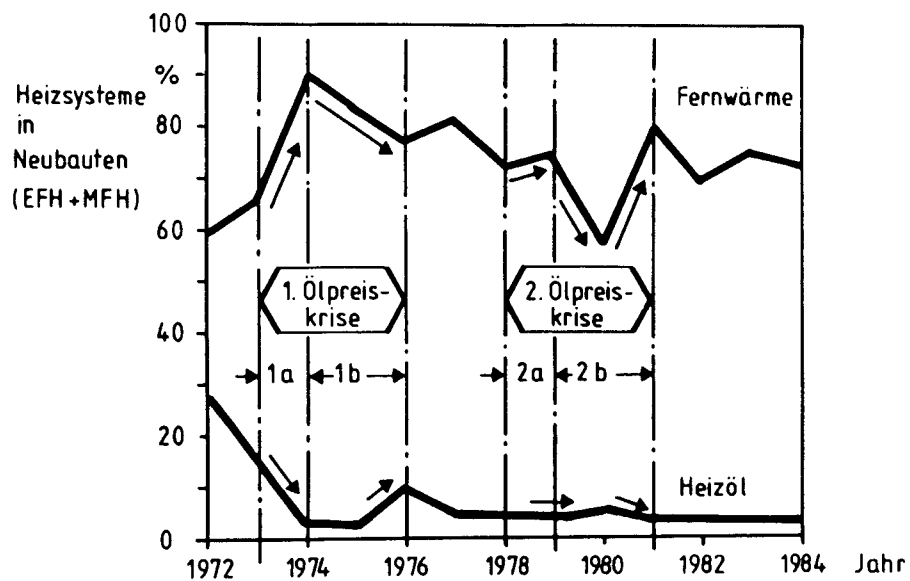


Bild 6.99: Neubaumarktanteile (Wohnungen) für Fernwärme und Heizöl in Versorgungsgebieten mit dominierender Fernwärmeversorgung  
a) Vorlaufzeit b) Reaktionszeitraum  
EFH - Einfamilienhaus MFH - Mehrfamilienhaus

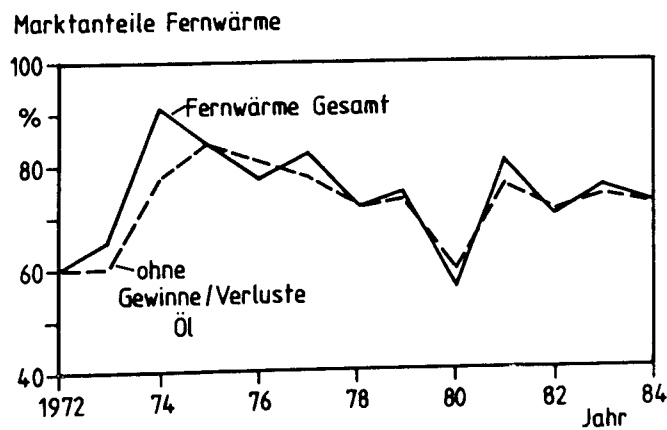


Bild 6.100: Marktanteile der Fernwärme bei direktem Wettbewerb mit dem Heizöl



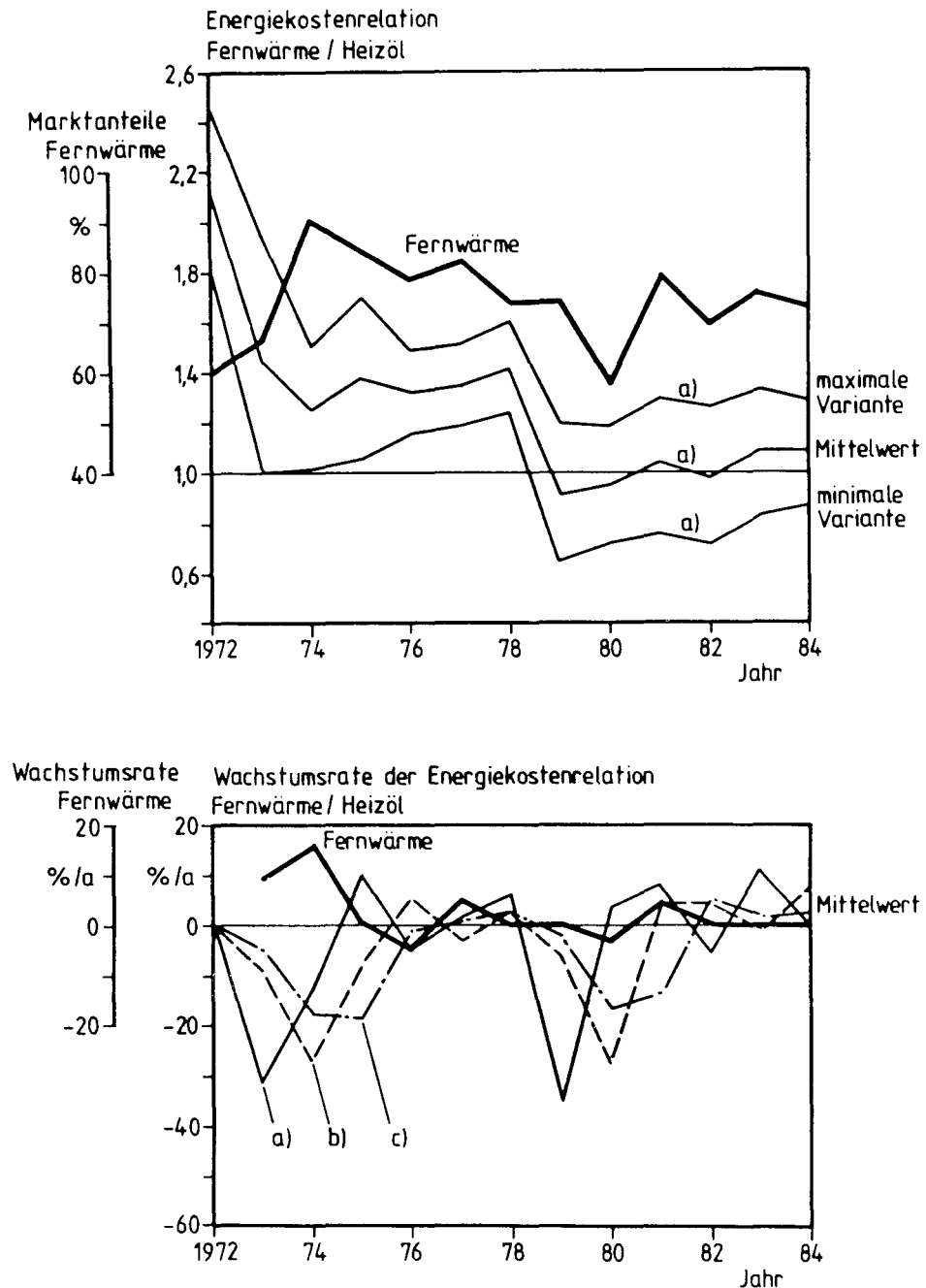


Bild 6.101: Entwicklung der Energiekostenrelationen zwischen Fernwärme und Ölkessel (obere Grafik) und Entwicklung der Wachstumsraten dieser Kostenrelationen (untere Grafik) sowie Entwicklung der Marktanteile der Fernwärme (obere Grafik) und der Wachstumsraten der Fernwärme bezogen auf die Zugewinne und Verluste zwischen beiden Systemen (untere Grafik)  
 - Kostenrelationen: extreme Werte sowie Mittelwert für Ein-, Zweifamilienhausbereich  
 a) 1-Jahresmittel  
 b) gewichtetes 2-Jahresmittel  
 c) gewichtetes 3-Jahresmittel  
 Annahmen: Tab. 6.11

b) Gesamte Heizkosten

Die Entwicklung der Vollkostenrelationen (Bild 6.102) zwischen den Vergleichssystemen zeigt, daß nach der Bewertung der gesamten Heizkosten über viele Bereiche des Betrachtungszeitraumes gute Verkaufsargumente für die Fernwärme gegeben waren, die sich auch am Markt durchsetzen ließen. Für den Ein-, Zweifamilienhausbereich gab es nur zwischen 1972 bis 1978 Teilbereiche, in denen eine Entscheidung für Fernwärme nicht rational begründet war. Andererseits war gerade unter diesen Bedingungen eine Entscheidung für Heizöl noch ökonomisch, während sie in allen anderen Fällen nicht rational zu begründen war.

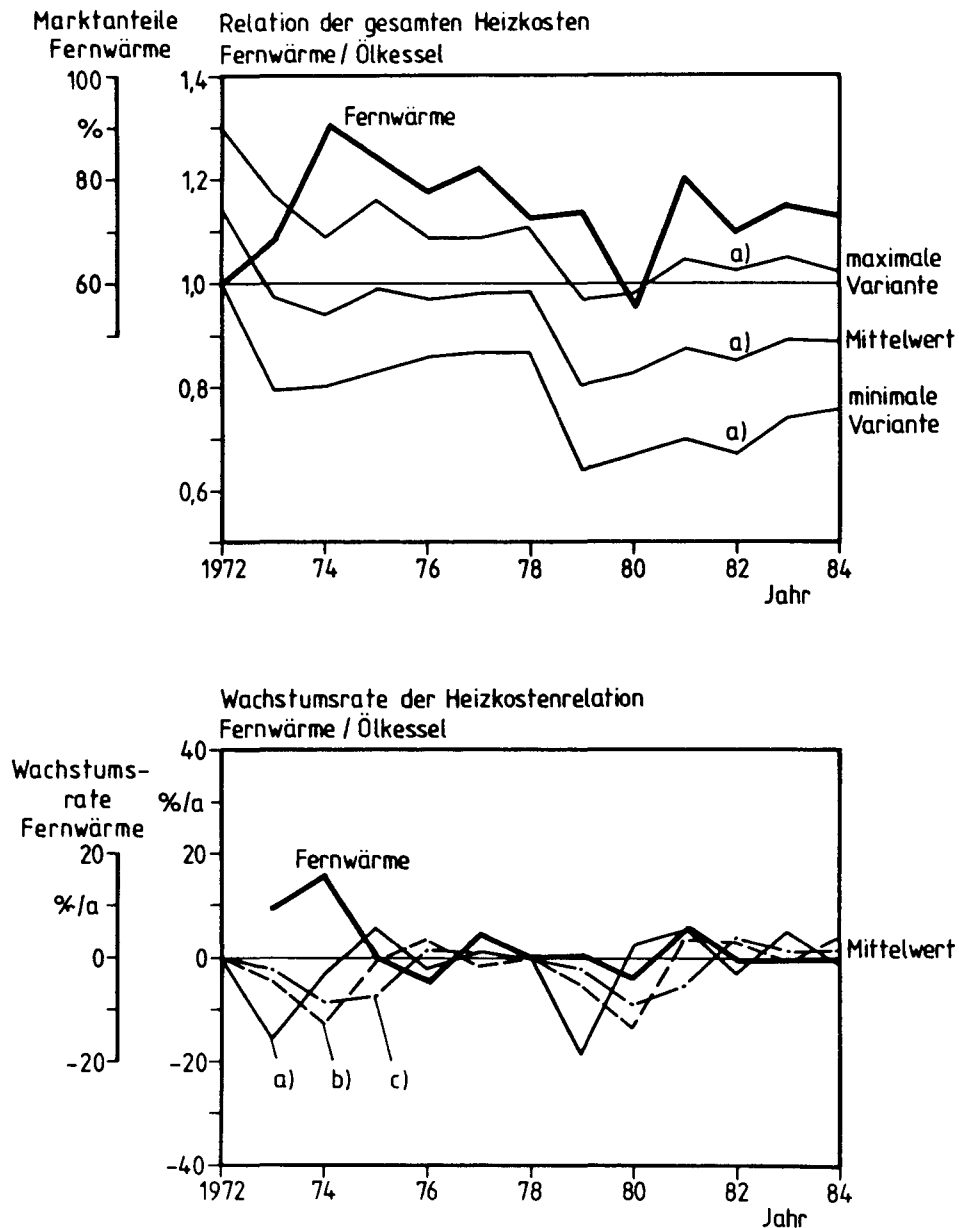


Bild 6.102: Entwicklung der Kostenrelationen (gesamte Heizkosten) zwischen Fernwärme und Ölkessel (obere Grafik) und Entwicklung der Wachstumsraten dieser Kostenrelationen (untere Grafik) sowie Entwicklung der Marktanteile der Fernwärme (obere Grafik) und der Wachstumsraten der Fernwärme bezogen auf die Zugewinne bzw. Verluste zwischen beiden Systemen (untere Grafik)

- Kostenrelationen: extreme Werte sowie Mittelwert für Ein-, Zweifamilienhausbereich
- a) 1-Jahresmittel
- b) gewichtetes 2-Jahresmittel
- c) gewichtetes 3-Jahresmittel

Annahmen: Tab. 6.11

#### 6.2.6.2 Heizkostenvergleich Fernwärme - Erdgas

Fernwärme und Erdgas stehen als leitungsgebundene Energieträger im starken Wettbewerb. Dies gilt sowohl für konkurrierende Versorgungsunternehmen als auch beim Vertrieb beider Energieträger durch ein Querverbundunternehmen. Beim Querverbundunternehmen besteht jedoch die Möglichkeit, durch Preisgestaltung bestimmte Ausbaustrategien zu beeinflussen, dieser Spielraum ist bei konkurrierenden Unternehmen nicht gegeben.

##### 6.2.6.2.1 Sensitivitätsanalyse

Wie schon beim Systemvergleich Fernwärme - Heizöl erweist sich auch im vorliegenden Vergleich der Energiepreis als wichtigster Parameter (Tab. 6.12 und Bild 6.103). Jedoch gibt es beim Systemvergleich Fernwärme - Erdgas keine freie Kombination der extremen Preisvarianten. Hier lassen sich bei fester Anbindung beider Energieträgerpreise allerdings unterschiedliche Preisniveaus beobachten. Auf absolut höherem Preisniveau liegen die Energiepreise in Düsseldorf ( $P_{\max}$  - obere Preisvariante), während die Energiepreise der Vereinigten Elektrizitätswerke, Dortmund, auf niedrigerem Niveau liegen ( $P_{\min}$  - untere Preisvariante).

##### 6.2.6.2.2 Spannbreite der Heizkosten

Da die Kostenentwicklung in den beiden untersuchten Basis-Versorgungsgebieten unterschiedlich verlaufen ist, ist der Extremwertbereich je nach Preisvariante unterschiedlich abgegrenzt (s. Bild 6.104). Entsprechend den Differenzen zwischen den Preisvarianten verhalten sich die Relationen der gesamten Heizkosten. Die Energiekostenrelationen lassen sich in ihrer Entwicklung nach 3 Phasen unterscheiden. In der ersten Phase (1972 - 1975) liegt Fernwärme in beiden Varianten ungünstiger als Erdgas. In der zweiten Phase (1976 - 1979) hat Fernwärme Vorteile in der unteren Variante, aber Nachteile in der oberen Preisvariante. Für den Zeitraum 1980 - 1984 (3. Phase) kommt es innerhalb der Varianten zu einer Umkehrung der Vorteilhaftigkeit.

					Basiswert (Mittlere Variante)		Variation				Minimale Variante		Maximale Variante											
Parameter					Symbol	Einheit	Jahr	Fern- wärme	Erdgas	Nr.	Fern- wärme	Nr.	Erdgas	Fern- wärme	Erd- gas	Fern- wärme	Erd- gas							
0	1	2	3	4													11	12	13	14				
Energiekosten					EK																			
1	Energiepreis	p	DPf/kWh	1977													unt. Preisvariante: p <sub>min</sub> ob. Preisvariante: p <sub>max</sub>							
2				1984																				
3	Nutzungsgrad	η	-	1977	5.91	4.45	1	+/- .78	1	+/- .95					η	η <sub>min</sub>	η	η <sub>max</sub>						
4				1984	9.80	7.87	2	+/-1.81	2	+/- .52														
					0.96	0.73																		
					0.96	0.79					3	0.82												
5	Klimazone	Z	-	1977	1		4	2				1												
6				1984			5																	
7	Vollbenutzungs- stunden	b <sub>v</sub>	h/a	1977																				
8				1984																				
9	Wartungskosten	WK	DM/a	1977	36	125	6	+/- 10%	8	+/- 10%	90 %	110 %	110 %	90 %										
10				1984	48	212	7		9															
Kapitalkosten					KP																			
11	Investition	I <sub>v</sub>	DM	1977	15012	12406	10	+/- 5%	12	+/- 5%	95 %	105 %	105 %	95 %										
12				1984	18687	15264	11		13															
13	Zins	ZS	%	1977	8		14	+/- 2				8		8										
14				1984			15																	
15	Steuer / Subventionen	ST	%	1977																				
16				1984	-	-	16	25			25	-	-	-										
Haustyp					HT																			
17	Wohnfläche	WF	m <sup>2</sup>	1977	140		17	100		19	190		190		100									
18				1984			18	Vergleichs- systeme		20			190		100									
Heizkostendifferenz																								
19	Fernwärme - Erdgas	DK	DM/a	1977	127.4								Fernwärme = Fernwärmeheizung											
20				1984	128.3								Erdgas = Erdgaskessel											

Tab. 6.12: Parametervariation für Heizkostenvergleich  
Fernwärme - Erdgaskessel

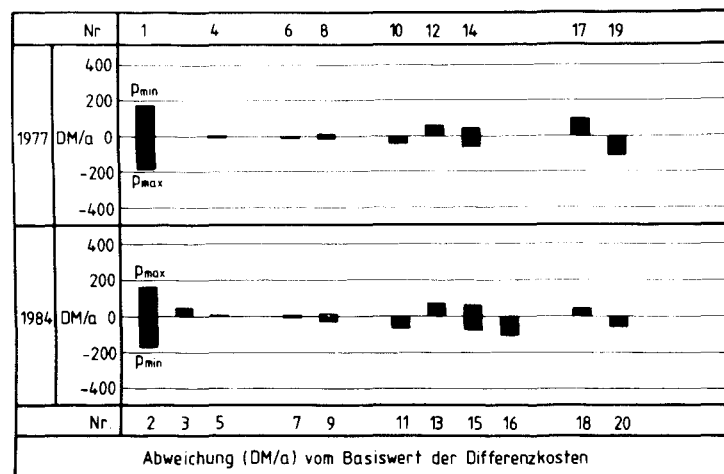


Bild 6.103: Sensitivität der Parametervariation beim Heiz-  
kostenvergleich Fernwärme - Erdgaskessel

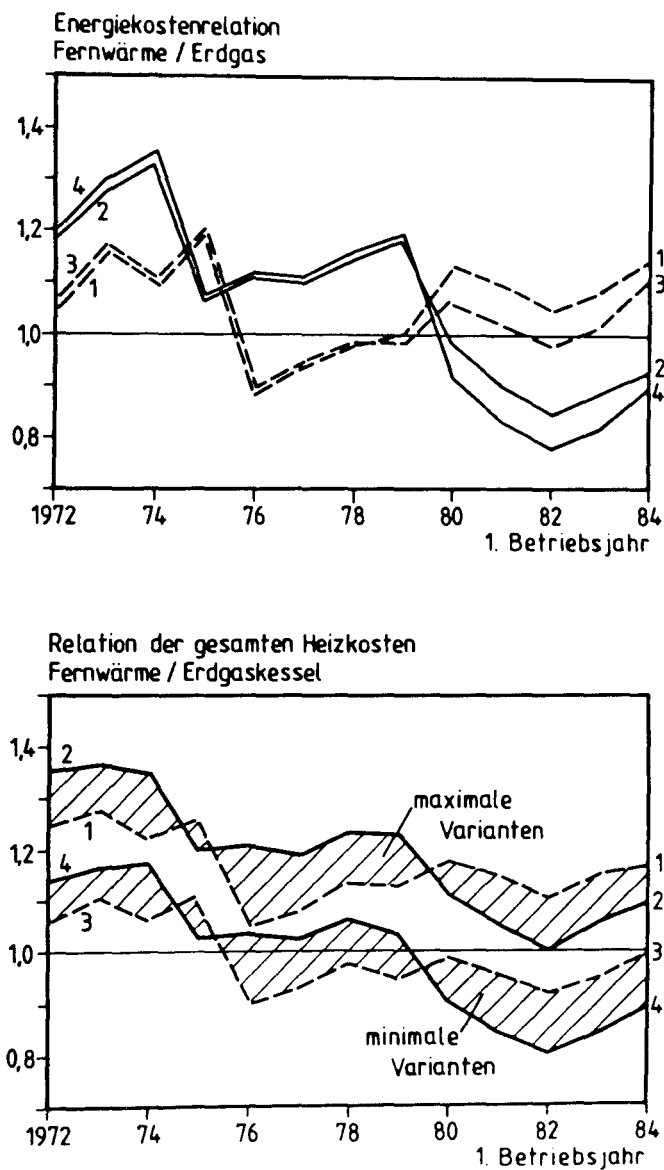


Bild 6.104: Entwicklung der Kostenrelationen zwischen Fernwärme und Erdgaskessel im Ein-, Zweifamilienhausbereich (Neubau)

- Energiekosten (obere Grafik)
- gesamte Heizkosten (untere Grafik)

Extreme Parametervariation (1 - 4):

- 1, 3: Versorgungsgebiete mit oberer Preisvariante
- 2, 4: Versorgungsgebiete mit unterer Preisvariante

Annahmen: Tab. 6. 12

Aus der Vollkostenperspektive bleibt Erdgas innerhalb beider maximaler Varianten über den ganzen Zeitraum günstiger als Fernwärme. Für die minimalen Varianten entwickelt sich die Vorteilhaftigkeit der Fernwärme gegenüber dem Erdgas nach den skizzierten Preisentwicklungszeiträumen. 1972 - 1975 ist die Fernwärme gegenüber dem Erdgas im Nachteil. Zwischen 1980 und 1984 ist dann Fernwärme eindeutig günstiger.

Der reine Einfluß der Energiepreise wird aus dem Variantenvergleich in Bild 6.105 deutlich. Während die Energiekostenrelationen nahezu dem Bild 6.104 entsprechen, ist das Spektrum der Heizkosten enger geworden. Der Verlauf der Vollkosten ist ebenfalls dem Bild 6.104 ähnlich, jedoch liegt Erdgas im Verhältnis zur Fernwärme noch günstiger.

Für die beiden Preisvarianten wird für den Basisfall (mittlere Variante) dieser Energiepreiseinfluß in Bild 6.106 hervorgehoben, während in Bild 6.107 die detaillierte Kostenstruktur dargelegt wird.

Für beide Versorgungssituationen sind in Bild 6.108 für den gesamten Ein-, Zweifamilienhausbereich kritische und kalkulierte Fernwärmepreise gegenübergestellt. Beiden Grafiken ist zu entnehmen, daß Fernwärme erst bei optimistischer Einschätzung der Parameter (minimale Variante) sowie größerem Gebäudetyp ( $190 \text{ m}^2$ ) die Anlegbarkeitsschwelle überschreitet, für die anderen Varianten wird die Anlegbarkeit nicht oder nur teilweise erreicht (mittlere Variante - untere Grafik).

Die beiden Preisvarianten der mittleren Variante werden zur Einschätzung des Kostenspielraumes in Bild 6.109 aus statischer und dynamischer Rechnung miteinander verglichen.

Bei statischer Rechnung ist die Unterschreitung der kalkulierten Kosten teilweise erheblich, in der oberen Preisvariante ist dann ab 1980 die Anlegbarkeit gegeben. Für die obere Preisvariante ergibt das dynamische Nachvollziehen der tatsächlichen Preisentwicklung zwischen 1972 und 1977, also unter Vorausset-

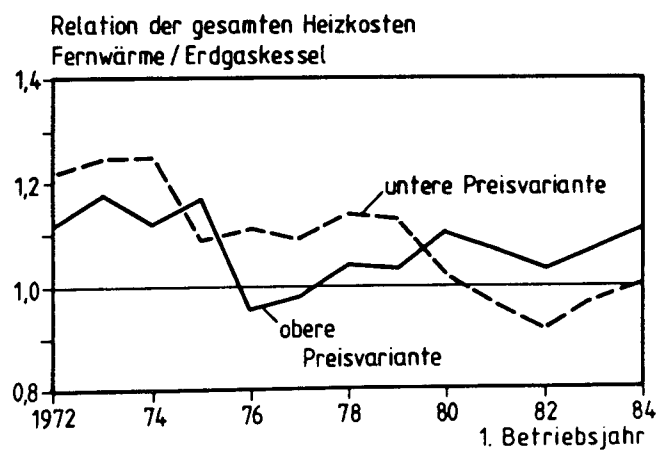
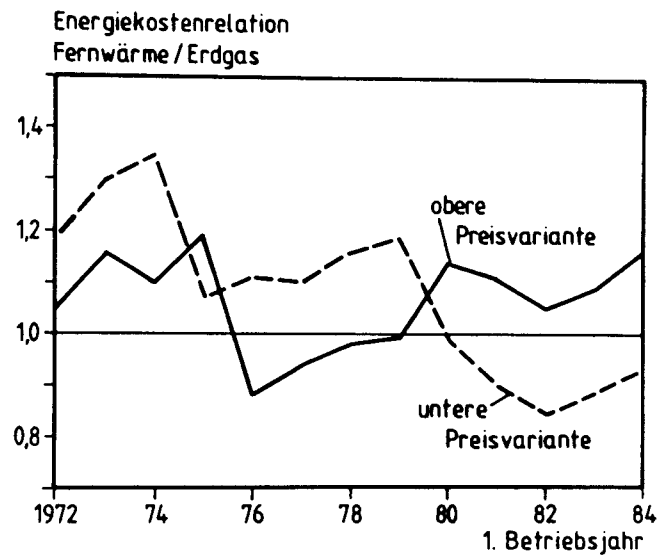


Bild 6.105: Entwicklung der Heizkosten zwischen Fernwärme und Erdgaskessel für den Basisfall für zwei Preisvarianten  
 - Energiekosten (obere Grafik)  
 - gesamte Heizkosten (untere Grafik)  
 Annahmen: Tab. 6.12



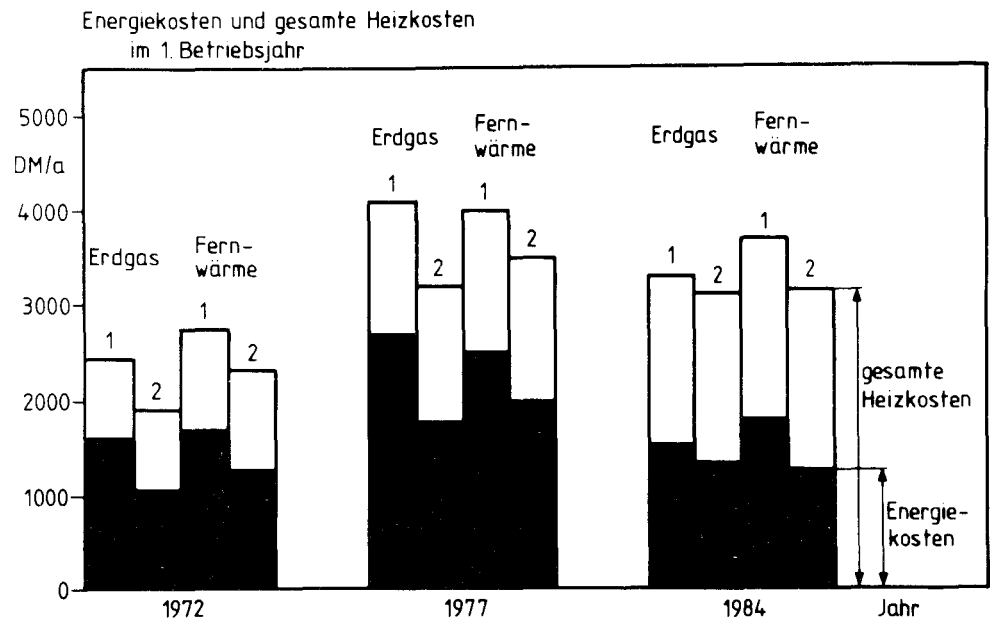


Bild 6.106: Vergleich der Energiekosten und der gesamten Heizkosten zwischen Fernwärme und Erdgaskessel für ausgewählte Jahre (mittlere Variante)  
1: obere Preisvariante 2: untere Preisvariante  
Anm.: 1984 verändertes Wärmeschutzniveau  
Annahmen: Tab. 6.12

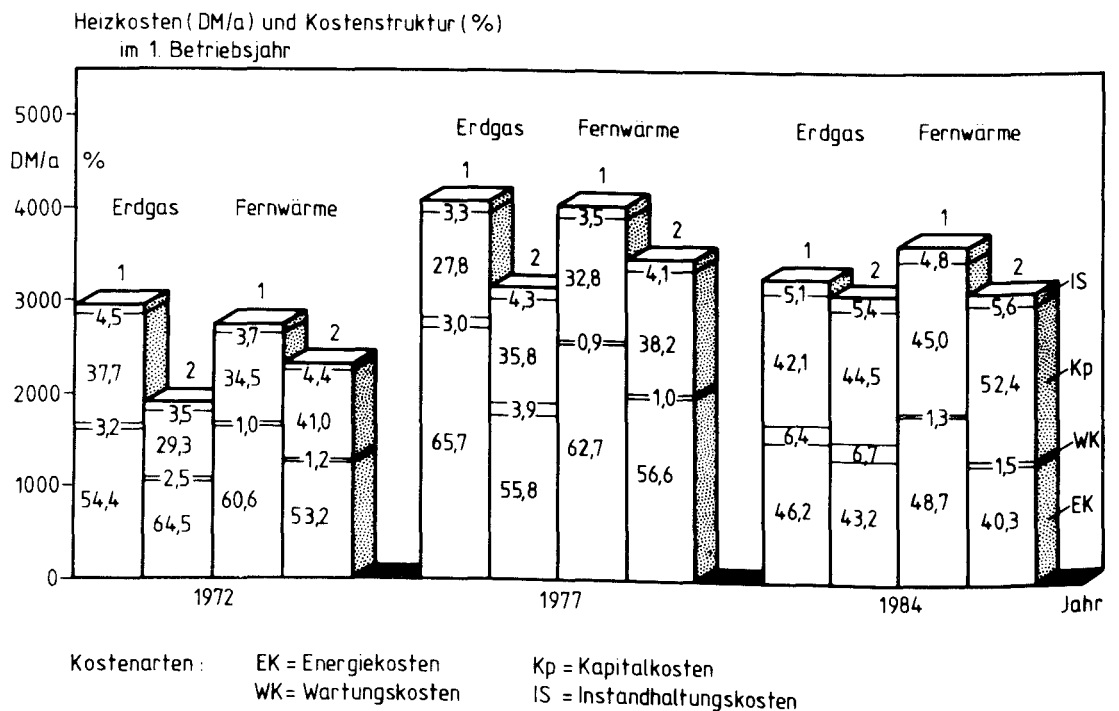


Bild 6.107: Vergleich der absoluten Heizkosten und Kostenstrukturen zwischen Fernwärme und Erdgaskessel (mittlere Variante)  
1: obere Preisvariante 2: untere Preisvariante  
Annahmen: Tab. 6.12

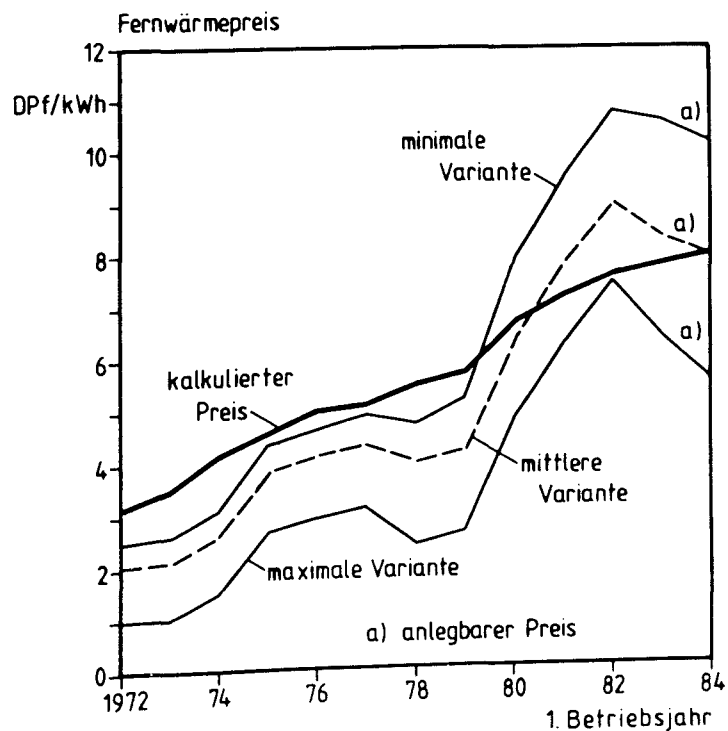
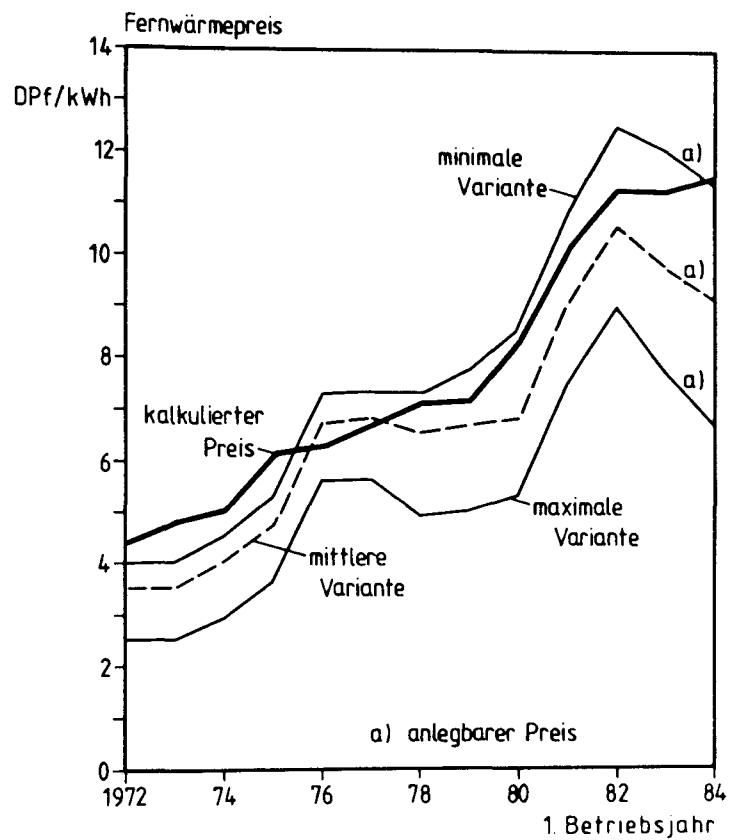


Bild 6.108: Anlegbarer und kalkulierter Fernwärmepreis für zwei Preisvarianten aus Heizkostenvergleich Fernwärme - Erdgaskessel bei extremer Parametervariation im Ein-, Zweifamilienhausbereich  
 - obere Preisvariante (obere Grafik)  
 - untere Preisvariante (untere Grafik)  
 Anm.: 1978, 1983 und 1984 verändertes Heizleistungsniveau

Annahmen: Tab. 6.12

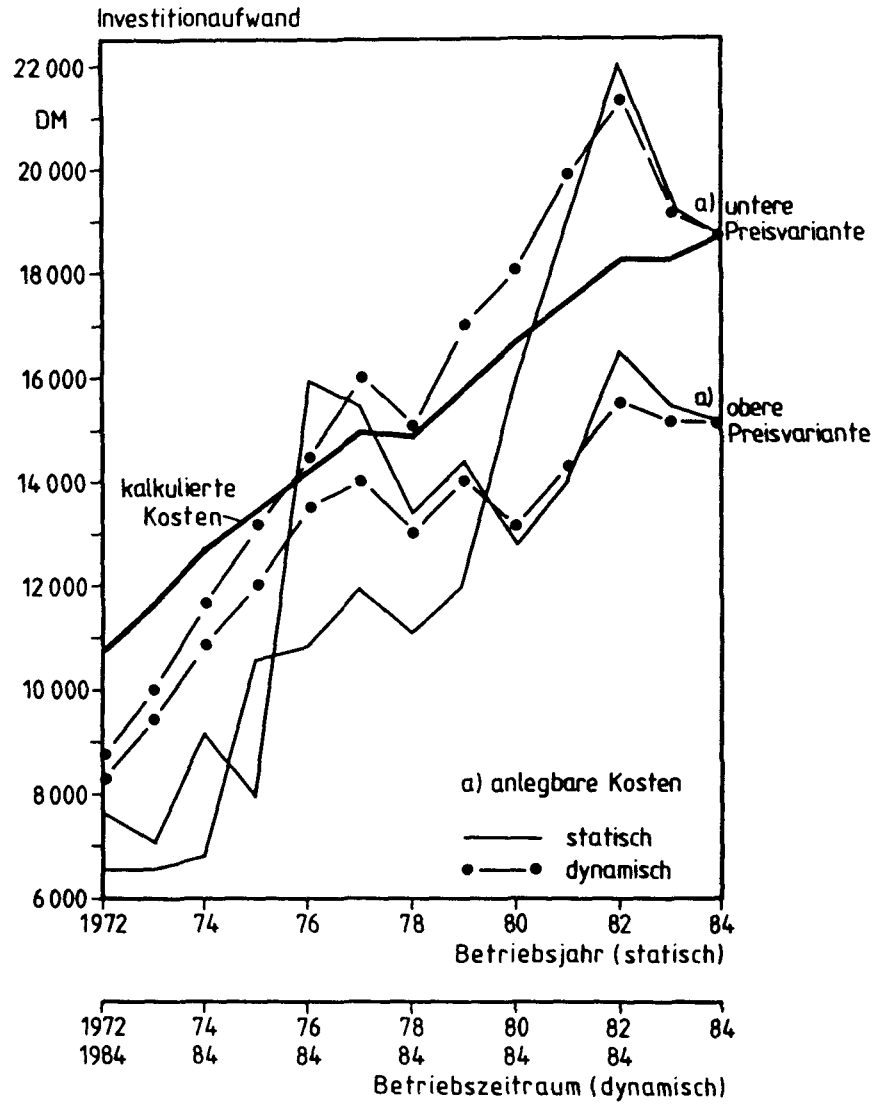


Bild 6.109: Anlegbare und kalkulierte Kosten für die Fernwärmeheizung aus Heizkostenvergleich Fernwärme - Erdgaskessel bei statischer und dynamischer Rechnung (mittlere Variante)

Anm.: 1978, 1983 und 1984 verändertes Heizleistungsniveau

Annahmen: Tab. 6.12

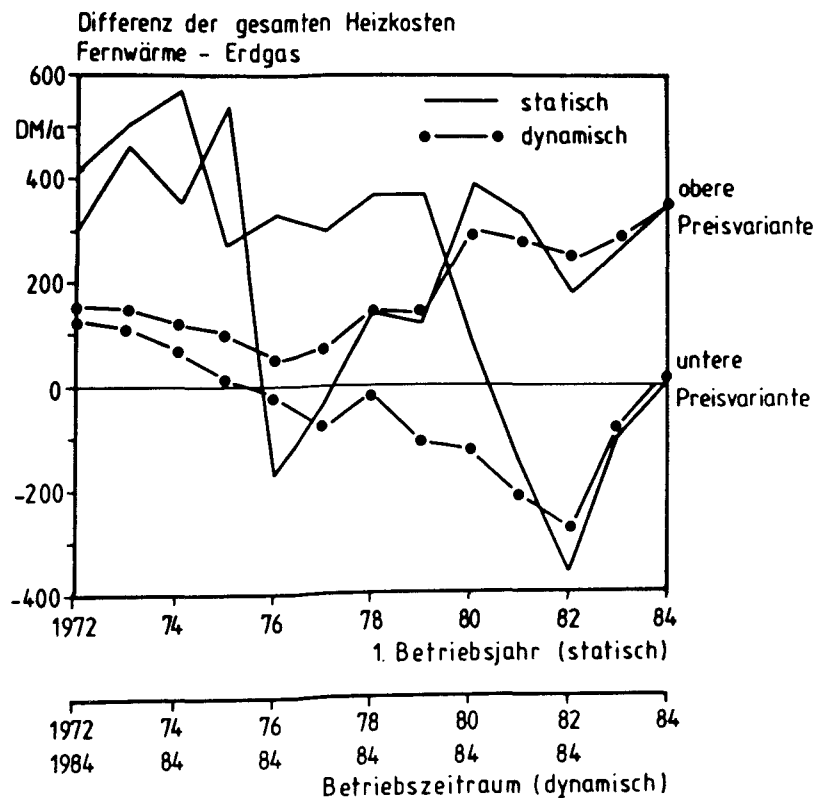
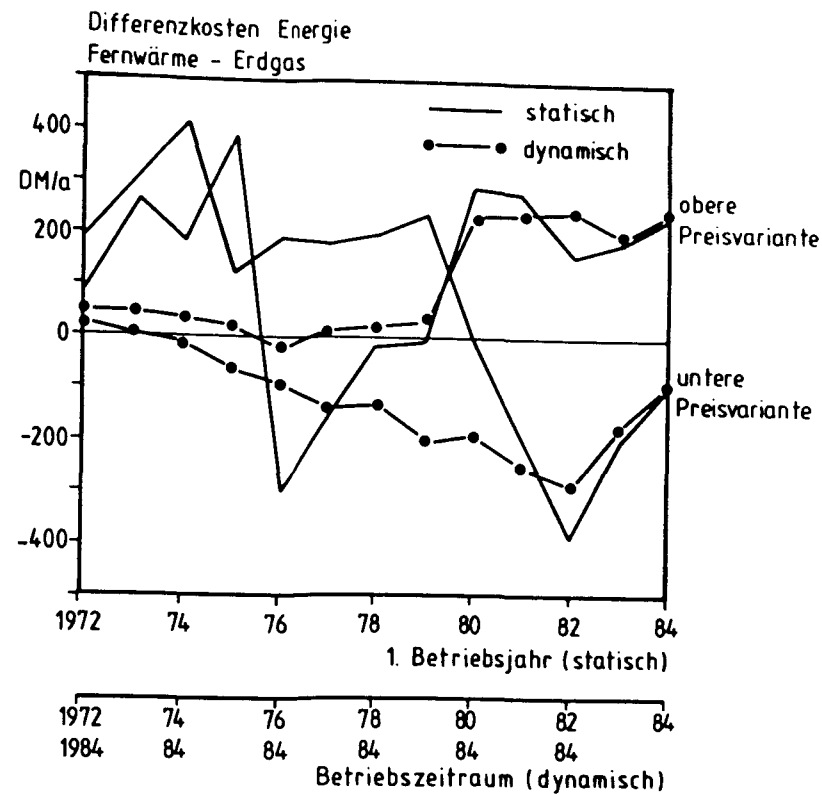


Bild 6.110: Entwicklung der Differenzkosten zwischen Fernwärme und Erdgaskessel für die mittlere Variante bei statischer und dynamischer Rechnung

- Energiekosten (obere Grafik)
- gesamte Heizkosten (untere Grafik)

Anm.: 1978, 1983 und 1984 verändertes Heizleistungsniveau

Annahmen: Tab. 6.12

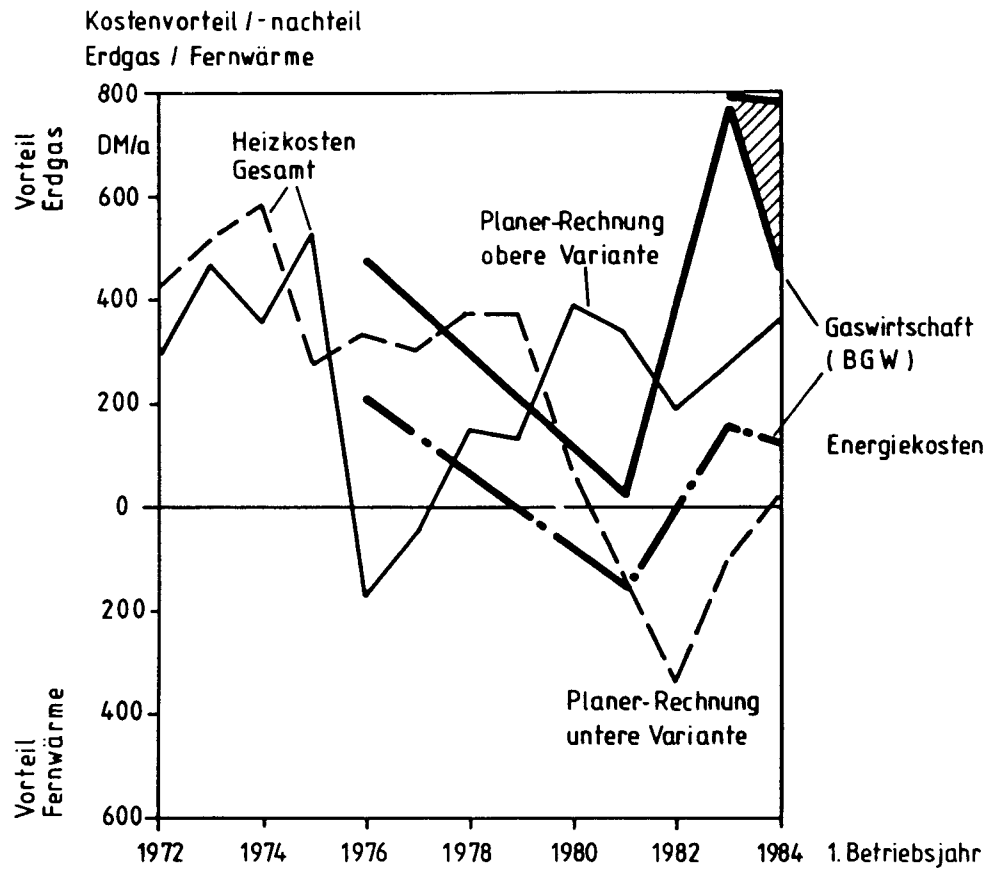


Bild 6.111: Bewertung der Fernwärme im Vergleich mit dem Erdgaskessel nach Rechnungen der Gaswirtschaft bzw. eigenen Rechnungen im Einfamilienhaus

zung großer Energiemengen, nahezu eine "dynamische" Anlegbarkeit, während ab 1978 die Situation mit der statischen Rechnung fast identisch ist. Für den Zeitraum 1972 - 1977 sind die Ergebnisse der unteren Preisvariante sehr ähnlich, dagegen zeigt die dynamische Rechnung nach 1977 schon früher Vorteile für die Fernwärme als die statische.

Die jährlichen Differenzkosten, die sich unter diesen Annahmen ergeben, sind in Bild 6.110 dargestellt. Die sich einstellenden Differenzkosten betragen sowohl bei positiver als auch negativer Entwicklung etwa 400 DM/a, sie erreichen etwa 10 % der jeweiligen absoluten Kosten. Dies zeigt deutlich, daß die feste Preisanbindung zwischen beiden Energieträgern ein extremes Auseinanderlaufen verhindert hat.

#### 6.2.6.2.3 Bewertung der Vergleichssysteme durch die Gaswirtschaft

Aus vorliegenden Rechnungen der Gaswirtschaft (Bundesverband der Gas- u. Wasserwirtschaft) wird deutlich, daß Gasinteressensvertreter im Zeitraum 1976 bis 1984 mehr oder weniger deutliche Vorteile für Erdgas im Vergleich zur Fernwärme publizierten (Bild 6.111). Der Vergleich mit den eigenen Rechnungen zeigt, daß die Vorteilhaftigkeit deutlich über die optimistische Variante hinausgeht, also konsequent Vorteilsmarketing betrieben wird. Von Fernwärme-Versorgungs-Unternehmen liegen keine Vergleichsdaten vor.

#### 6.2.6.2.4 Verbraucherentscheidung

##### 6.2.6.2.4.1 Substitutionsbewegungen

Wie die Bilder 6.112 und 6.113 zeigen, gab es zwischen Fernwärme und Erdgas im Betrachtungszeitraum kurzfristig stark schwankende Substitutionsbewegungen. Von der Trendanalyse her gesehen, nimmt Fernwärme leicht ab, während der Anteil des Erdgases leicht steigt.

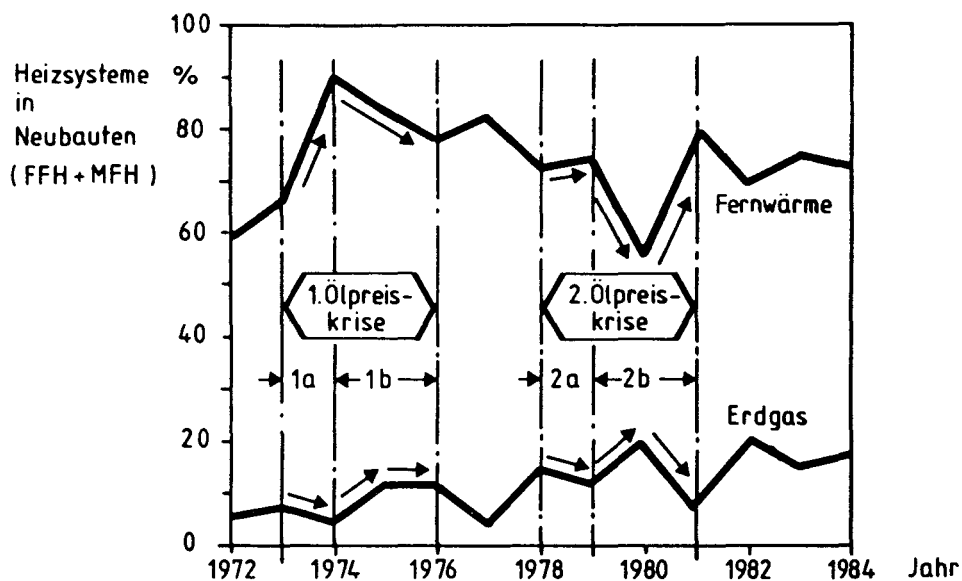


Bild 6.112: Neubaumarktanteile (Wohnungen) für Fernwärme und Erdgas in Versorgungsgebieten mit dominierender Fernwärmeversorgung  
a) Vorlaufzeit b) Reaktionszeitraum  
EFH- Einfamilienhaus MFH-Mehrfamilienhaus

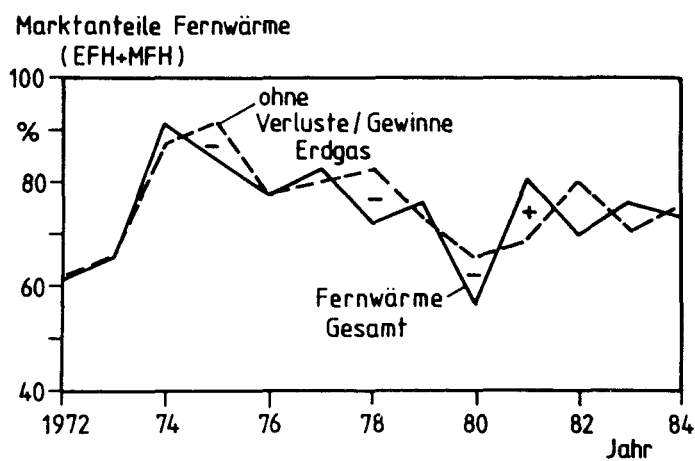


Bild 6.113: Marktanteile der Fernwärme bei direktem Wettbewerb mit dem Erdgas

#### 6.2.6.2.4.2 Verbraucherreaktion

Sowohl die Wachstumsraten der Energiekostenrelationen als auch der Heizkostenrelationen verlaufen phasengleich, wenn auch absolut etwas unterschiedlich (vgl. Bilder 6.114 und 6.115).

Die schnelle Abfolge der Substitutionsbewegungen zwischen den Vergleichssystemen läßt sich nur teilweise mit diesen Kostenentwicklungen in Einklang bringen. Insofern kann die Nullhypothese (kein Zusammenhang zwischen Kostenentwicklung und Verbraucherentscheidung) nicht sicher verworfen werden.

Es ist anzunehmen, daß sich die stark wechselnden Substitutionsbewegungen als Agglomerat der verschiedenen Marketingstrategien der Summe der Versorger auswirkt. Je nach Anteil der Neubautätigkeit in einzelnen Versorgungsgebieten wirken sich die Präferenzen für Fernwärme oder Erdgas unterschiedlich aus.

Weiterhin ist entscheidend, daß Fernwärmeversorgung für die Gebäudetypen für den Ein-, Zweifamilienhausbereich atypisch ist. Die Substitutionsbewegungen im Ein- und Zweifamilienhausbereich könnten daher vollkommen andere Werte aufzeigen.

Obwohl Fernwärme- und Erdgasversorgungsunternehmen nach dem Prinzip der anlegbaren Kosten arbeiten, damit Vollkosten einbeziehen, soll zunächst unterstellt werden, die Entscheidung ist nach dem Vergleich der Energiekosten gefallen. Eine Entscheidung für Fernwärme wäre also im Zeitraum 1972 bis 1979 weitgehend rational nicht zu begründen, da Erdgas fast robuste Vorteile hatte. Erst im Zeitraum 1980 bis 1984 gab es für beide Energieträger sowohl Vor- als auch Nachteile. Je nach Kostensituation war für beide Energieträger eine Entscheidung ökonomisch zu begründen.

Auch wenn angenommen wird, daß die Versorgungsunternehmen nach Vollkostenkriterien bewerten, ergibt sich prinzipiell derselbe zeitliche Ablauf der Vorteilhaftigkeit wie beim Energiekostenvergleich, auch hier war Erdgas lange Zeit erheblich vorteilhafter als Fernwärme, erst ab 1980 ergaben sich unter Bedingungen der minimalen Variante positive Aspekte für die Fernwärmeversorgung im Ein- und Zweifamilienhausbereich.



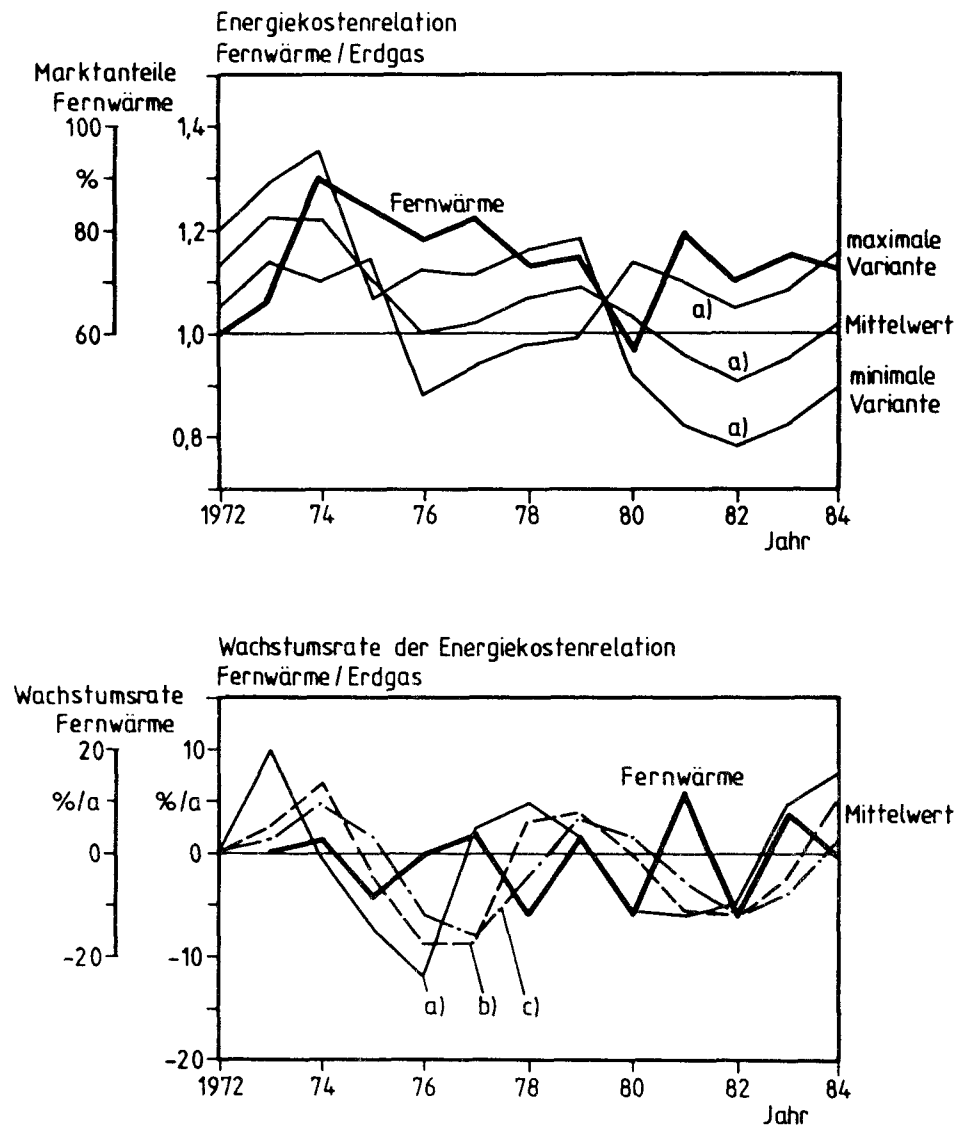


Bild 6.114: Entwicklung der Energiekostenrelationen zwischen Fernwärme und Erdgaskessel (obere Grafik) und Entwicklung der Wachstumsraten dieser Kostenrelationen (untere Grafik) sowie Entwicklung der Marktanteile der Fernwärme (obere Grafik) und der Wachstumsraten der Fernwärme bezogen auf die Zugewinne und Verluste zwischen beiden Systemen (untere Grafik)

- Kostenrelationen: extreme Werte sowie Mittelwert für Ein-, Zweifamilienhausbereich
- a) 1-Jahresmittel
- b) gewichtetes 2-Jahresmittel
- c) gewichtetes 3-Jahresmittel

Annahmen: Tab. 6.12

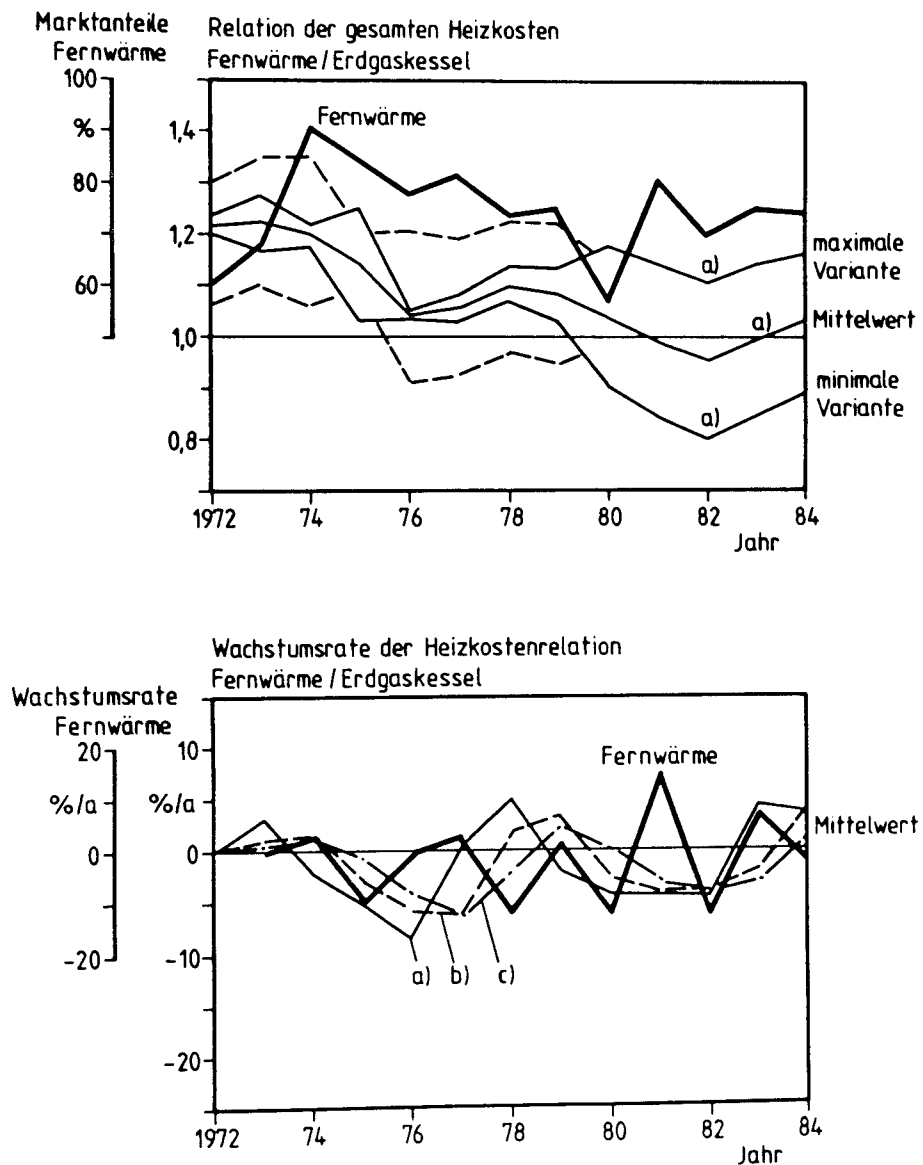


Bild 6.115: Entwicklung der Kostenrelationen (gesamte Heizkosten) zwischen Fernwärme und Erdgaskessel (obere Grafik) und Entwicklung der Wachstumsraten dieser Kostenrelationen (untere Grafik) sowie Entwicklung der Marktanteile der Fernwärme (obere Grafik) und der Wachstumsraten der Fernwärme bezogen auf die Zugewinne und Verluste zwischen beiden Systemen (untere Grafik)

- Kostenrelationen: extreme Werte sowie Mittelwert für Ein-, Zweifamilienhausbereich
- a) 1-Jahresmittel
- b) gewichtetes 2-Jahresmittel
- c) gewichtetes 3-Jahresmittel

Annahmen: Tab. 6.12

### 6.2.6.3 Heizkostenvergleich Fernwärme - Nachtstrom

#### 6.2.6.3.1 Sensitivitätsanalyse

Innerhalb der untersuchten Parameter erweist sich wiederum die Energiepreisvariation (Fernwärmepreis) als wichtigste Einflußgröße. Mit etwas geringerer Wirkung folgen die Parameter Gebäudetyp, Zins und Klimazone, von denen nur die Gebäudetypvariation in die Spannbreitenbetrachtung der Heizkosten eingeht (s. Bild 6.116 und Tab. 6.13).

#### 6.2.6.3.2 Spannbreite der Heizkosten

In Bild 6.117 ist die Spannbreite der Heizkosten bei extremer Variation der Einflußgrößen (vgl. Tab. 6.13) über den ganzen Ein-, Zweifamilienhausbereich und bei alleiniger Variation des Fernwärmepreises für den Basisfall (mittlere Variante) dargestellt.

Für den Zeitraum 1972 - 1977, als bei Nachtstromspeicherheizungen durch zusätzliche Wärmedämmung die Energiemengen gegenüber anderen konventionellen Heizungen stark reduziert waren, ergeben sich für dieses System eindeutige Energiekostenvorteile (obere Grafik). Erst ab 1978, als keine zusätzlichen Maßnahmen einkalkuliert wurden, liegen die Abweichungen von der Linie gleicher Kosten etwa auf gleicher Höhe. Es ist zudem ersichtlich, daß durch die Variation des Gebäudetyps die Spannbreite der Energiekosten nicht erheblich verändert wird.

Werden alle Kostengruppen in den Heizkostenvergleich einbezogen, so ergibt sich die in der unteren Grafik des Bildes 6.117 veranschaulichte Entwicklung. Von 1972 bis 1984 zeigt ein eindeutiger Trend zunehmende Kostenvorteile für die Nachtspeicheröfen. Einen robusten Vorteil gibt es jedoch im Betrachtungszeitraum für ein System nicht, im Mittel liegt jedoch die Nachtspeicherheizung etwas günstiger, wie die Preisvariation für den Basisfall (mittlere Variante) erkennen läßt.

				Basiswert (Mittlere Variante)		Variation					Minimale Variante		Maximale Variante	
Parameter		Symbol	Einheit	Jahr	Fern- wärme	Strom	Nr.	Fern- wärme	Nr.	Strom	Fern- wärme	Strom	Fern- wärme	Strom
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Energiekosten	EK												
1	Energiepreis	p	DPf/kWh	1977	5.43	6.4	1	+/- .60					P <sub>min</sub>	P
2				1984	9.95	11.5	2	+/- 1.39					P <sub>max</sub>	P
3	Nutzungsgrad	η	-	1977	0.96	0.98							η	η
4				1984	0.96	1.00							η	η
5	Klimazone	Z	-	1977	1		3	2			1			
6				1984			4							
7	Vollbenutzungs- stunden	b <sub>v</sub>	h/a	1977	1700	1600			5	+/- 100	b <sub>v</sub>	b <sub>vmax</sub>	b <sub>v</sub>	b <sub>vmin</sub>
8				1984	1850	1750		6	b <sub>v</sub>		b <sub>vmax</sub>	b <sub>v</sub>	b <sub>vmin</sub>	
					36	28	7	+/- 10%	9	+/- 10%	90 %	110 %	110 %	90 %
9	Wartungskosten	WK	DM/a	1977	48	40	8		10					
10				1984										
Kapitalkosten		KP												
11	Investition	I <sub>v</sub>	DM	1977	15012	17016	11	+/- 5%	13	+/- 5%	95 % 105 % 105 % 95 %			
12				1984	18687	10207	12		14					
13	Zins	ZS	%	1977	8		15	+/- 2			8			
14				1984			16							
15	Steuer/ Subventionen	ST	%	1977										
16				1984										
Haustyp		HT												
17	Wohnfläche	WF	m <sup>2</sup>	1977	140		18	100	20	190	190			
18				1984			19		21					
Heizkostendifferenz														
19	Fernwärme - Strom	DK	DM/a	1977	157.5		Vergleichs- systeme		Fernwärme= Fernwärmeheizung					
20				1984	669.5				Strom = Nachstrom- speicheröfen					

Tab. 6.13: Parametervariation für Heizkostenvergleich  
Fernwärme - Nachtspeicheröfen

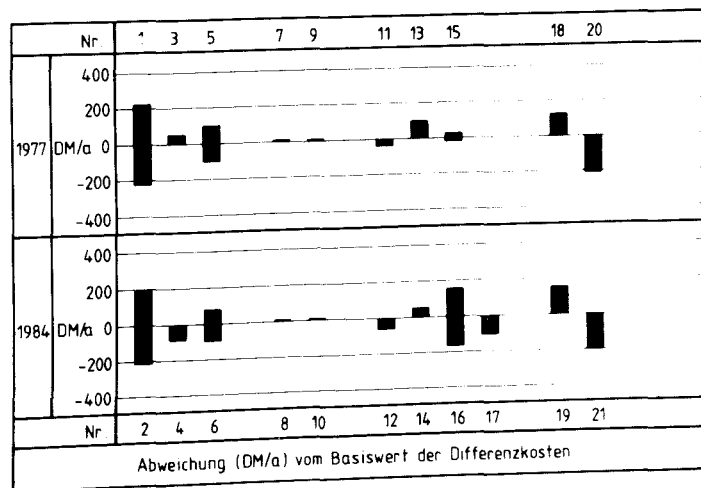


Bild 6.116: Sensitivität der Parametervariation beim Heiz-  
kostenvergleich Fernwärme - Nachtspeicheröfen

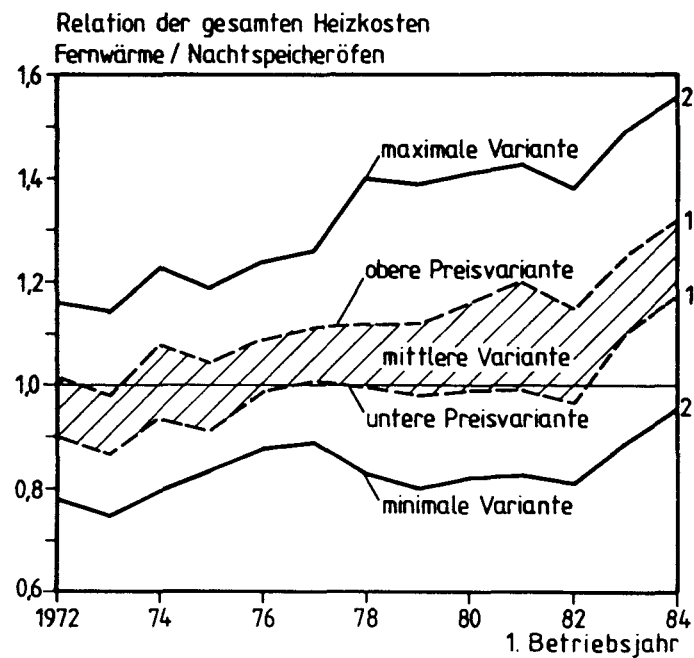
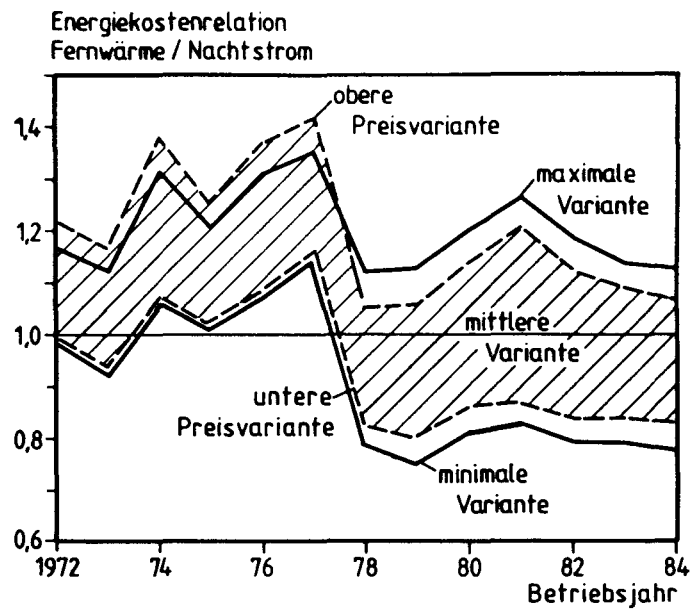


Bild 6.117: Entwicklung der Kostenrelationen zwischen Fernwärme und Nachtspeicheröfen im Ein-, Zweifamilienhausbereich (Neubau)

- Energiekosten (obere Grafik)
- gesamte Heizkosten (untere Grafik)

1: Nur Preisvariation für mittlere Variante  
2: Extreme Parametervariation

Annahmen: Tab. 6.13

Der Einfluß der Fernwärmepreisvarianten ist für die mittlere Variante in den Bildern 6.118 und 6.119 dargestellt. Der Vergleich der ausgewählten Betriebsjahre 1972 und 1977 zeigt die zunehmenden Kostenvorteile der Nachtstromspeicheröfen bei zusätzlichen Wärmedämmmaßnahmen. Im Jahre 1984 liegen die Stromkosten dagegen zwischen denen der unteren und oberen Fernwärmepreisvariante, nunmehr ergeben sich jedoch erhebliche Kostenvorteile vom Investitionsaufwand her. Die detaillierten Kostenstrukturen für diesen speziellen Vergleich können dem Bild 6.119 entnommen werden.

Für den Basisfall ergibt sich bei Annahme des günstigen Fernwärmepreises (untere Preisvariante) fast die volle Anlegbarkeit des kalkulierten Fernwärmepreises, in der oberen Preisvariante wird sie weit überschritten (Bild 6.120). Bei extremer Variation aller Parameter im gesamten Ein-, Zweifamilienhausbereich ist dagegen im Fall der minimalen Variante bei günstigen Fernwärmepreisen jederzeit die Anlegbarkeit gegeben. Bei gleicher Preisannahme aber ungünstiger Zuordnung der restlichen Einflußgrößen gilt dies jedoch nur noch für den Zeitraum 1972 - 1977 (maximale Variante). Danach wird für diesen Fall ebenso wie für die pessimistische Parametervariation bei ungünstigen Fernwärmepreisen die Anlegbarkeit weit unterschritten.

Auch ein dynamisches Nachvollziehen der Preis- u. Kostenentwicklung ändert nichts an der Bewertung, wie aus dem Vergleich der kalkulierten und anlegbaren Kosten aus Bild 6.121 hervorgeht (mittlere Variante). Für den Zeitraum 1972 - 1977 ergibt die dynamische Rechnung vielmehr erhöhte Vorteile für die Nachtstromspeicheröfen. Dies liegt an den günstigen Energiekosten, die sich aufgrund der geringen Energiemengen in diesem Zeitraum bei Nachtstromspeicheröfen ergaben (vgl. Bild 6.121).

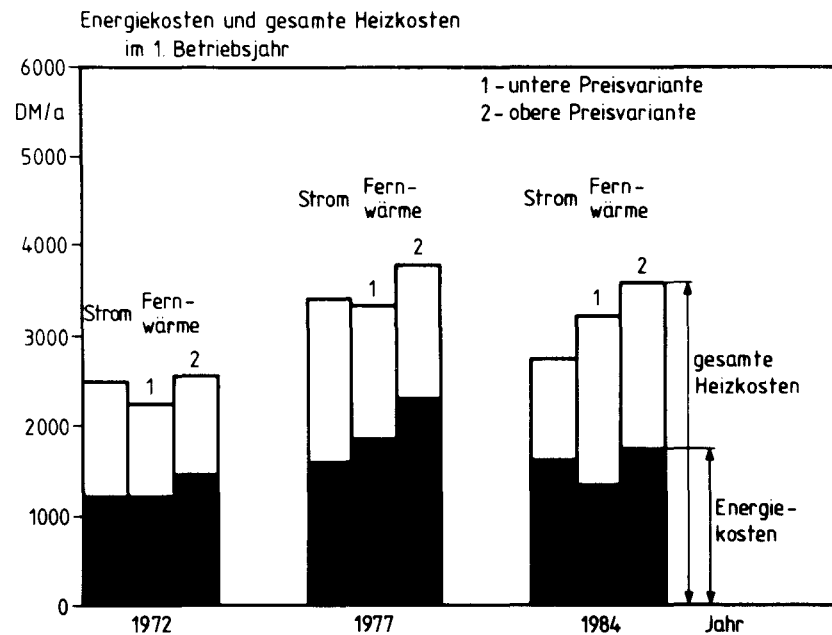


Bild 6.118: Vergleich der Energiekosten und gesamten Heizkosten zwischen Fernwärme und Nachtstromspeicheröfen für ausgewählte Jahre (mittlere Variante)  
Anm.: 1984 verändertes Wärmeschutzniveau  
Annahmen: Tab. 6.13

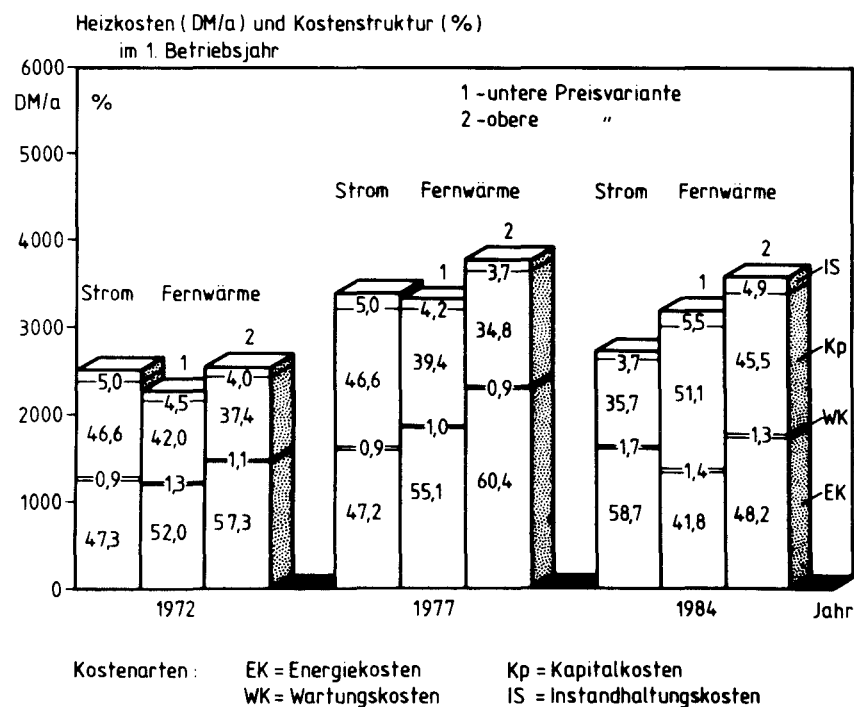


Bild 6.119: Vergleich der absoluten Heizkosten und Kostenstrukturen zwischen Fernwärme und Nachtstromspeicheröfen (mittlere Variante)  
Annahmen: Tab. 6.13

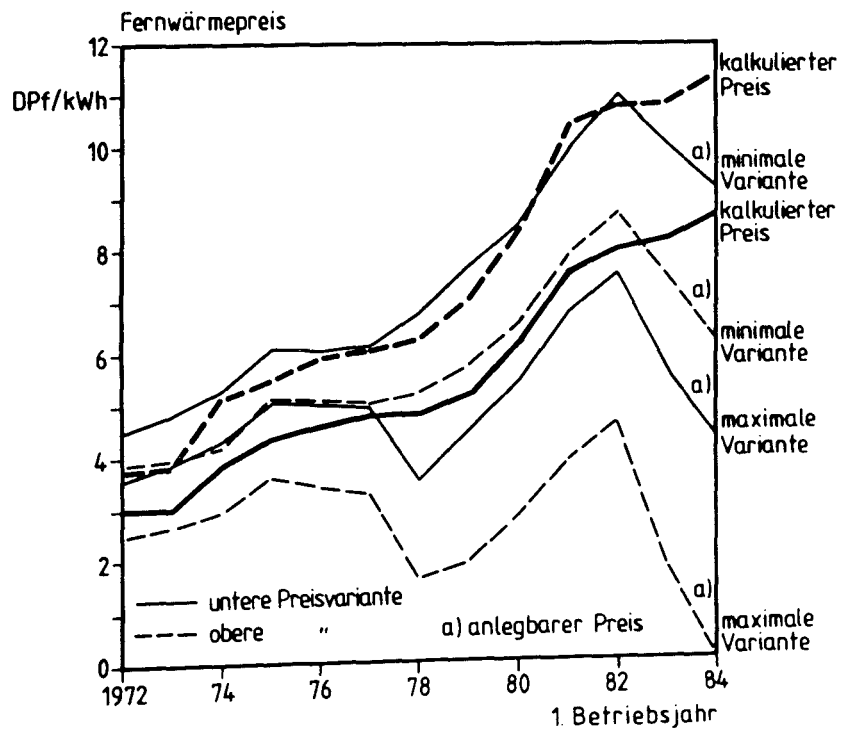
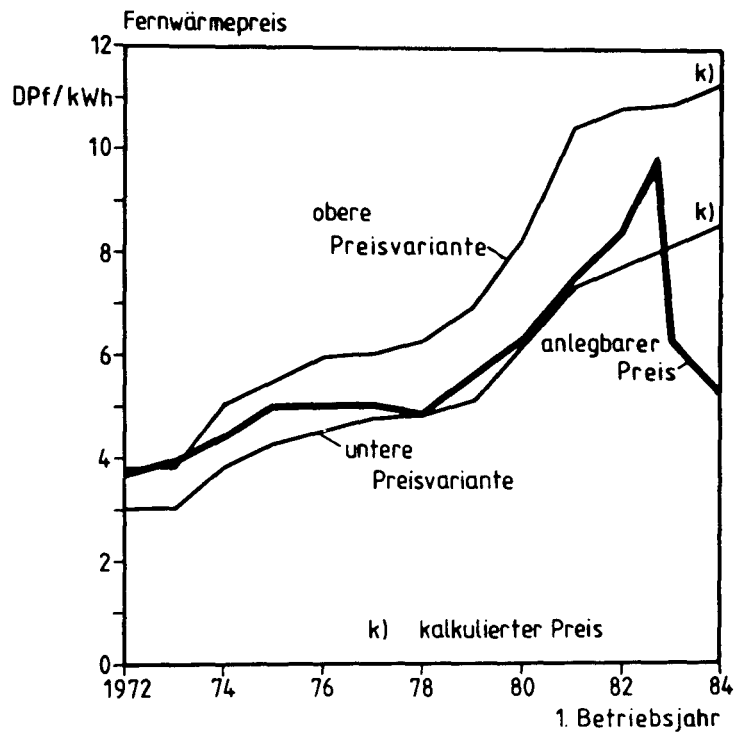


Bild 6.120: Anlegbarer und kalkulierter Fernwärmepreis aus Heizkostenvergleich Fernwärme - Nachtstromspeicheröfen im Ein-, Zweifamilienhausbereich  
 - extreme Preisvariation für mittlere Variante (obere Grafik)  
 - extreme Varianten für Versorgungsgebiete mit oberem und unterem Preisniveau (untere Grafik)  
 Annahmen: Tab. 6.13



Der in Bild 6.121 beobachtbaren engen Korrelation der kalku-  
lierten Kosten mit den statischen und dynamischen Berechnungen  
der unteren Preisvariante entsprechen verhalten sich die Dif-  
ferenzkosten (gesamte Heizkosten) zwischen beiden Systemen  
(Bild 6.122). Wenn Nachtstromspeicherheizungen bei der Preis-  
gestaltung in diesen Versorgungsgebieten berücksichtigt worden  
sind, dann ist anzunehmen, daß die Anlegbarkeitskriterien nach  
diesem Fall ermittelt wurden.

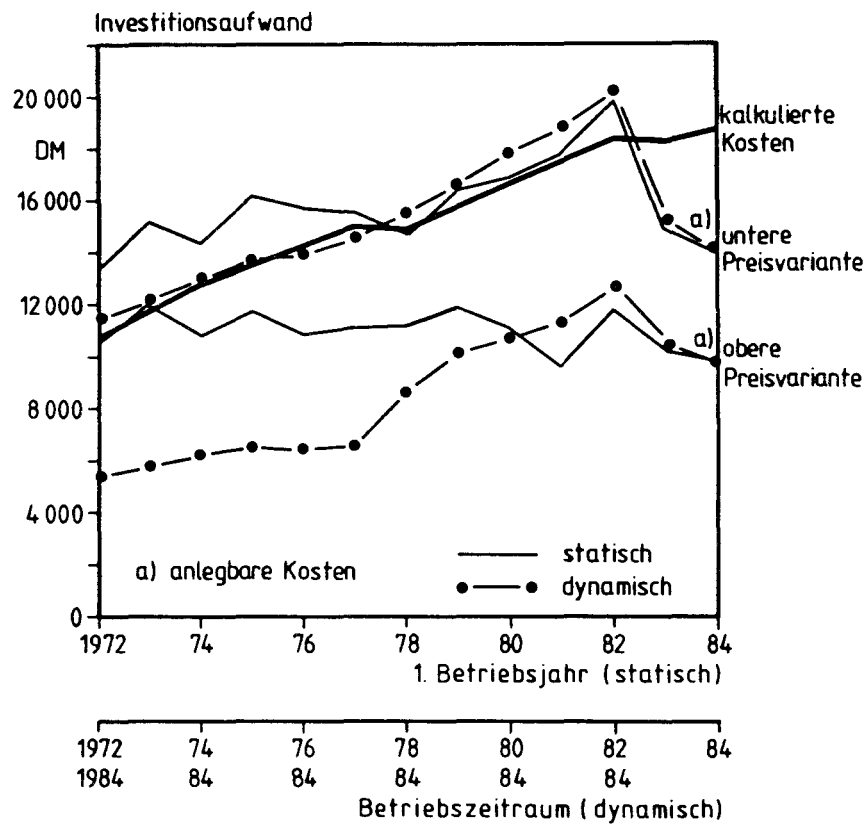


Bild 6.121: Anlegbare und kalkulierte Kosten für Fernwärme-  
heizung aus Heizkostenvergleich Fernwärme - Nacht-  
stromspeicheröfen bei statischer und dynamischer  
Rechnung (mittlere Varianten)  
Anm.: 1978, 1983 u. 1984 verändertes Heizleistungs-  
niveau  
Annahmen: Tab. 6.13

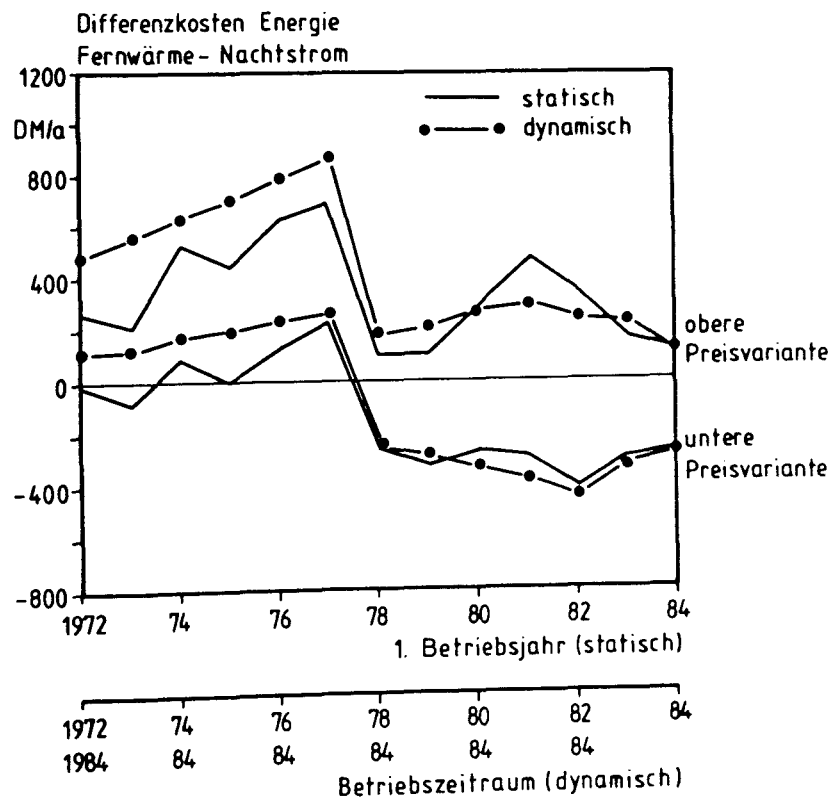
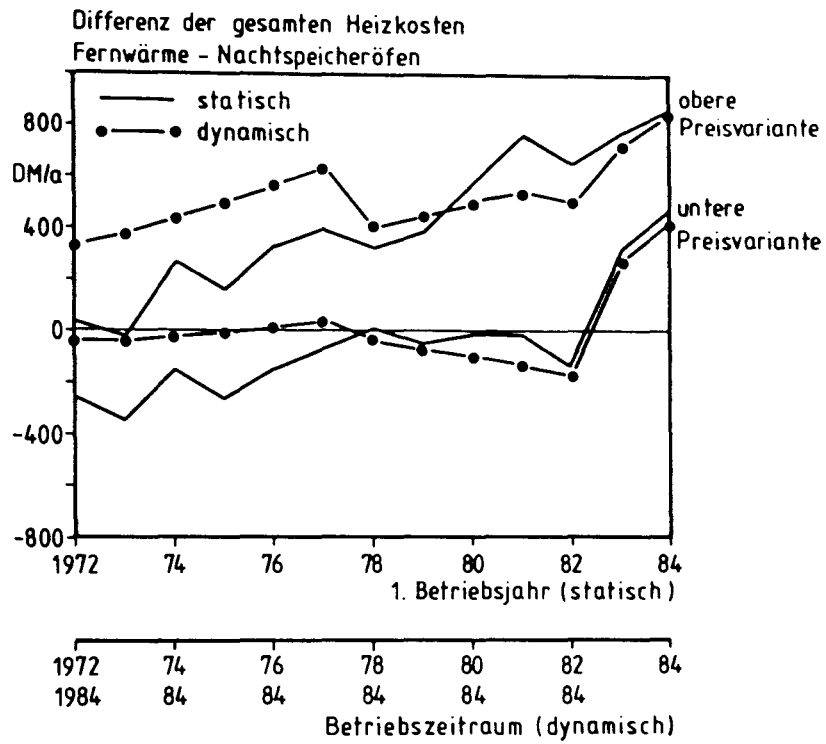


Bild 6.122: Entwicklung der Differenzkosten zwischen Fernwärme und Nachtstromspeicheröfen für die mittlere Variante bei statischer und dynamischer Rechnung

- Energiekosten (obere Grafik)
- gesamte Heizkosten (untere Grafik)

Anm.: 1978, 1983 und 1984 verändertes Heizleistungsniveau

Annahmen: Tab. 6.12

### 6.2.6.3.3 Verbraucherentscheidung

#### 6.2.6.3.3.1 Substitutionsbewegungen

In den Bildern 6.123 und 6.124 sind die Marktanteile der Vergleichssysteme sowie die Veränderungen der Marktanteile zwischen ihnen dargestellt. Bild 6.123 enthält wiederum alle Stromheizungen. Der Anteil an Wärmepumpen ist darin gering, weil davon in erster Linie Ein- und Zweifamilienhäuser betroffen waren, während hier eine hochverdichtete Bausubstanz vorliegt.

Auch in Versorgungsgebieten mit dominierender Fernwärme ist der kapazitätsbedingte Rückgang der Stromheizungen nach 1972 zu beobachten (Bild 6.123), nach der zweiten Ölpreiskrise (1979 - 1981) schließt sich eine kurze Phase der Erholung an. Aus Bild 6.124 geht hervor, daß besonders zu den Zeitpunkten der Ölpreiskrisen zwischen beiden Systemen Wanderungsbewegungen erkennbar sind, während in den restlichen Jahren keine Verschiebungen vorliegen.

#### 6.2.6.3.3.2 Verbraucherreaktion

##### a) Energiekosten

Zwischen der Entwicklung der Energiekostenrelationen und der Verbraucherentscheidung gibt es bis 1982 deutlich erkennbare Zusammenhänge (s. Bild 6.125 untere Grafik), so daß die Nullhypothese verworfen werden kann. Im Zeitraum 1973 - 1977 kann eine Entscheidung für Nachtspeicheröfen rational begründet werden, da die Energiekosten robust günstiger als die der Fernwärme waren. Die tatsächliche Marktbewegung zeigt aber zunächst ein Wachstum der Fernwärme. Diese atypische Marktbewegung ist auf die restriktive Angebotspolitik der Stromversorger zurückzuführen. Nach 1977 verbessern sich die Kostenrelationen für die Fernwärme. Die damit verbundenen Verluste der Fernwärme im direkten

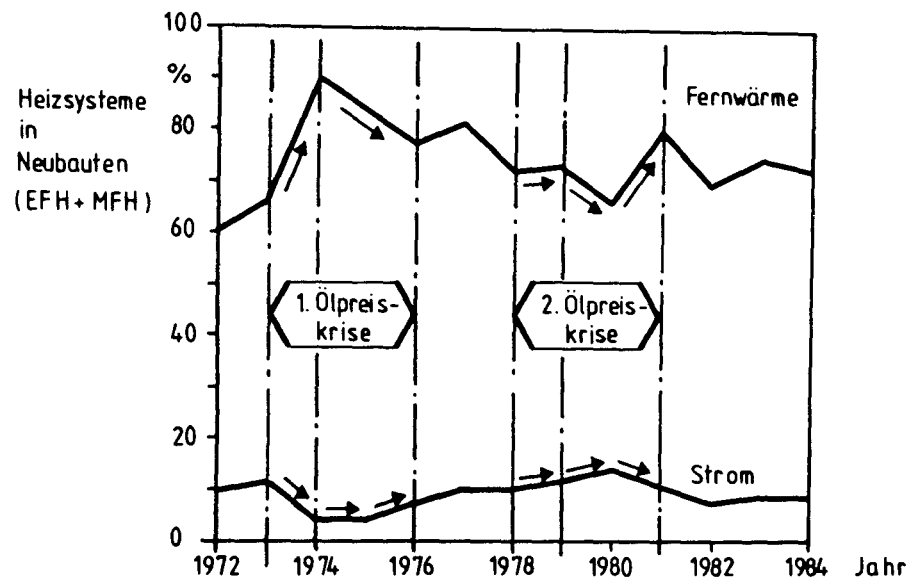


Bild 6.123: Neubaumarktanteile für Fernwärme und Stromheizungen  
in Versorgungsgebieten mit dominierender Fernwärme-  
versorgung

a) Vorlaufzeit	b) Reaktionszeitraum
EFH-Einfamilienhaus	MFH-Mehrfamilienhaus

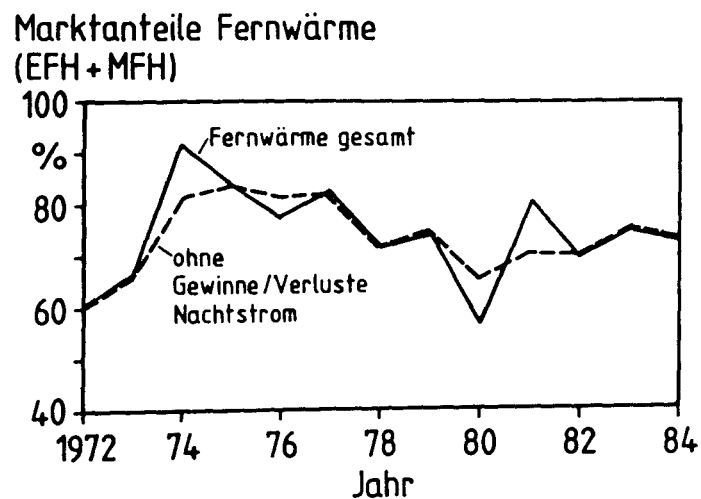


Bild 6.124: Marktanteile der Fernwärme bei direktem Wettbewerb mit dem Nachtstrom

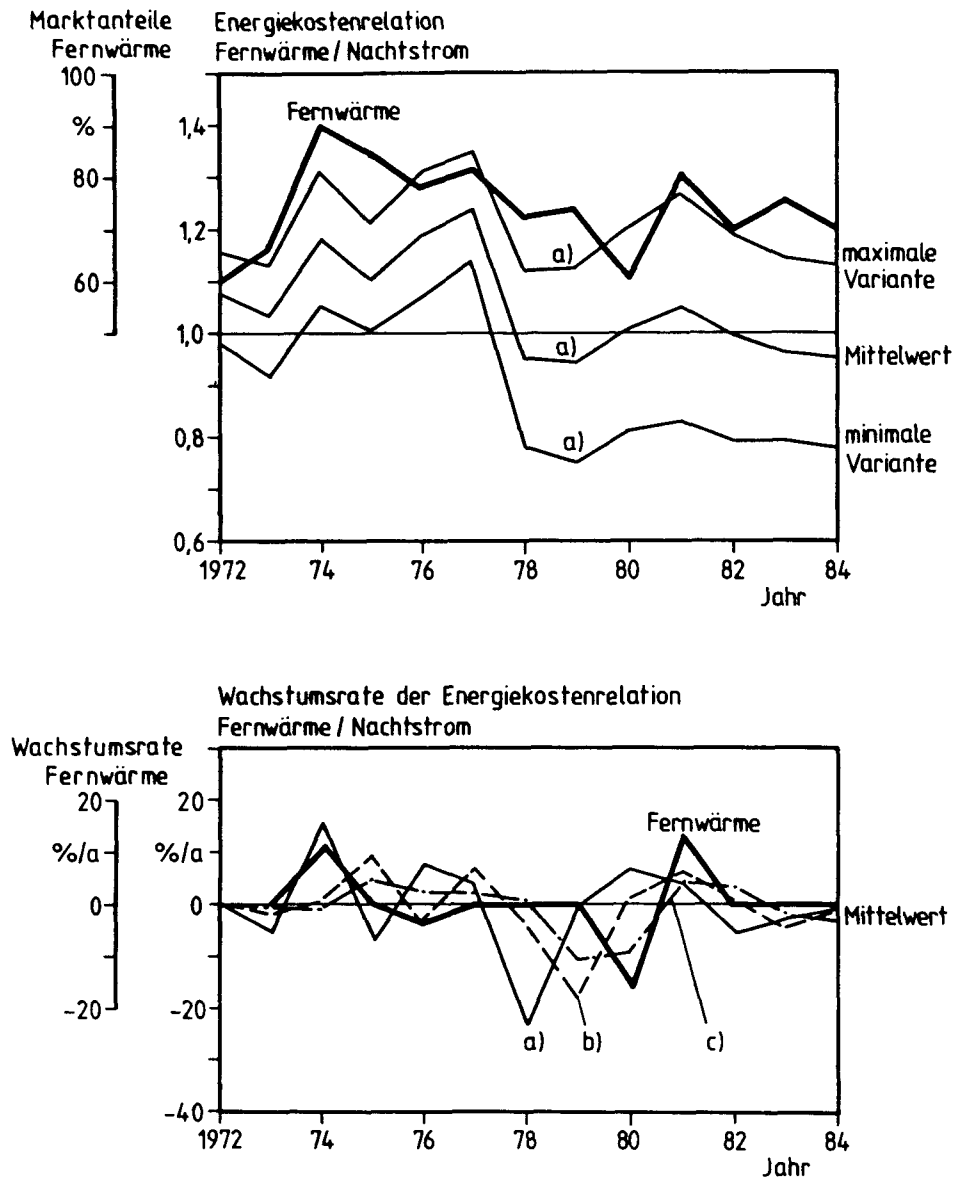


Bild 6.125: Entwicklung der Energiekostenrelationen zwischen Fernwärme und Nachtspeicheröfen (obere Grafik) und Entwicklung der Wachstumsraten dieser Kostenrelationen (untere Grafik) sowie Entwicklung der Marktanteile der Fernwärme (obere Grafik) und der Wachstumsraten der Fernwärme bezogen auf die Zugewinne und Verluste zwischen beiden Systemen (untere Grafik)

- Kostenrelationen: extreme Werte sowie Mittelwert für Ein-, Zweifamilienhausbereich
- a) 1-Jahresmittel
- b) gewichtetes 2-Jahresmittel
- c) gewichtetes 3-Jahresmittel

Annahmen: Tab. 6.13

Wettbewerb sind für Ausgangsbedingungen der minimalen Variante wiederum als atypische Reaktion zu verstehen, während sie für den Bereich des Mittelwertes bis zur maximalen Variante als Ergebnis rationaler Entscheidung eingeordnet werden können.

b) Gesamte Heizkosten

Wird unterstellt, daß im Wettbewerb beider Systeme vorrangig nach Vollkosten entschieden wurde, so läßt sich der Zusammenhang zwischen Kostenentwicklung und Verbraucherreaktion (Verwerfung der Nullhypothese) nur teilweise nachvollziehen (vgl. Bild 6.126). Wie bei der Energiekostenbetrachtung ist die Verbraucherreaktion zur ersten Ölpreiskrise auch aus Vollkosten-sicht als atypisch einzustufen. Zur zweiten Ölpreiskrise läßt sich aus der Entwicklung der gesamten Heizkosten keine Korrelation zur Verbraucherreaktion erkennen.

Tendenziell nimmt die Vorteilhaftigkeit des Stromes zu, die Marktreaktionen geben diesen Trend jedoch nicht wieder (s. Bild 6.126, untere Grafik).

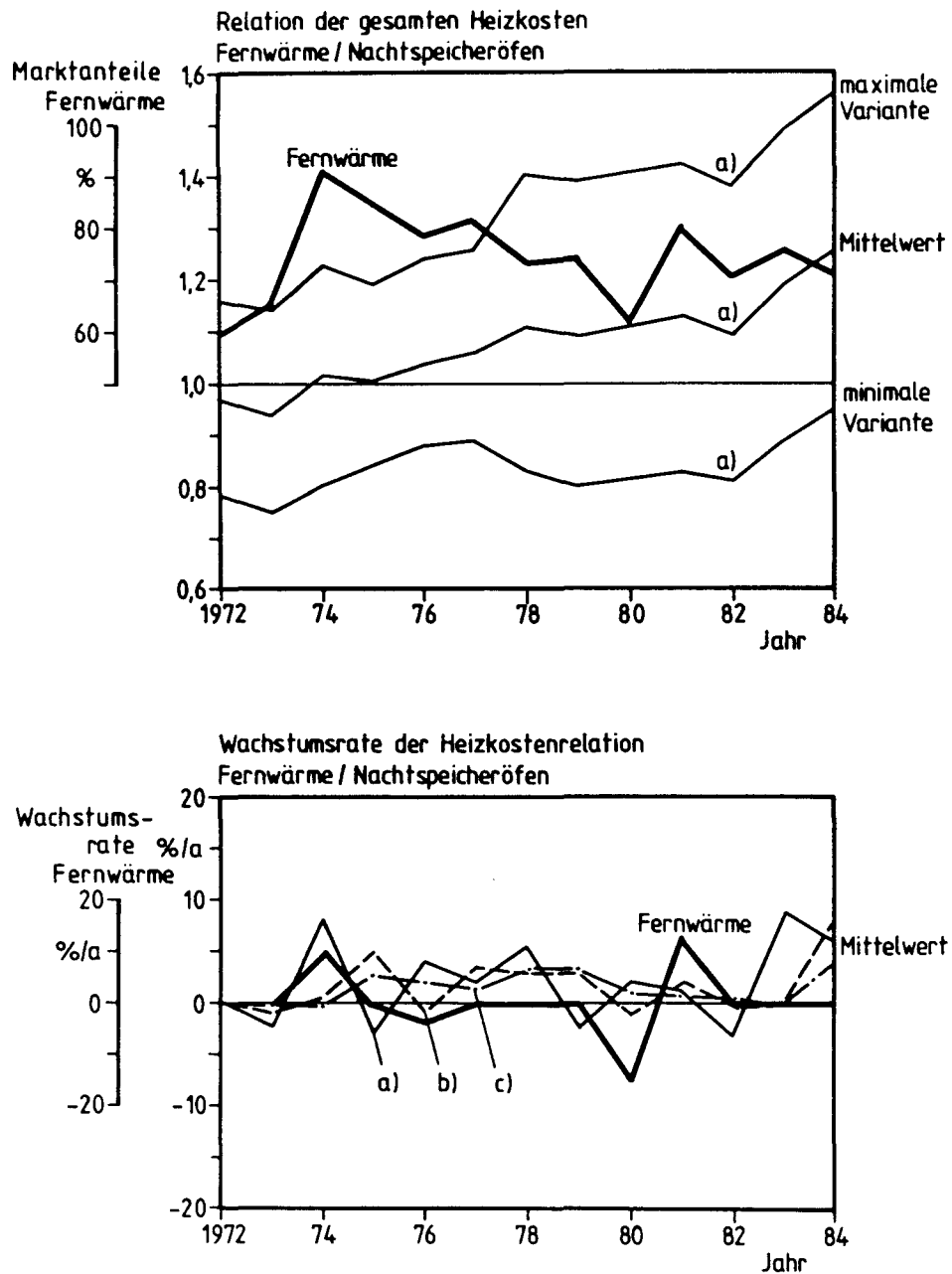


Bild 6.126: Entwicklung der Kostenrelationen (gesamte Heizkosten) zwischen Fernwärme und Nachtspeicheröfen (obere Grafik) und Entwicklung der Wachstumsraten dieser Kostenrelationen (untere Grafik) sowie Entwicklung der Marktanteile der Fernwärme (obere Grafik) und der Wachstumsraten der Fernwärme bezogen auf die Zugewinne und Verlusten zwischen beiden Systemen (untere Grafik)

- Kostenrelationen: extreme Werte sowie Mittelwert für Ein-, Zweifamilienhausbereich
- a) 1-Jahresmittel
- b) gewichtetes 2-Jahresmittel
- c) gewichtetes 3-Jahresmittel

Annahmen: Tab. 6.13

Literatur zu Kapitel 6

- /6.1/ Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk,  
Bericht über die Haushaltskundenbefragung 1981,  
Essen, 1982, S. 10 - 12
- /6.2/ E. Gruber, T. Meyer,  
Energiesparende Innovationen  
im Eigenheim,  
Bonn, 1983, S. 17
- /6.3/ ESSO AG,  
Verhalten,  
Esso-Magazin 1/80,  
Hamburg, S. 20
- /6.4/ Urselmann, G.,  
Erdgasheizung, Entwicklungstrends  
und Marktchancen,  
gas 1979, H. 4, S. 130
- /6.5/ Reents, H.,  
Die Entwicklung des sektoralen End-  
und Nutzenergiebedarfs in der Bundes-  
republik Deutschland,  
KFA Jülich GmbH, Jül-1452,  
Jülich, 1977, S. 21
- /6.6/ ESSO AG,  
Fakten und Faktoren,  
Mineralöl-Energie,  
Hamburg 1985
- /6.7/ Bundesverband für Gas- und Wasser-  
wirtschaft,  
Deutsche Gaswirtschaft 1984,  
Bonn, 1984
- /6.8/ Hauptberatungsstelle für Elektrizitäts-  
anwendung e. V.,  
Statistisches Faltblatt 1983,  
Frankfurt, 1983
- /6.9/ Brankamp, F.,  
Wachstumsphase hält an,  
Energiewirtschaftliche Tagesfragen 35 (1985),  
H. 6, S. 397
- /6.10/ Heuss, E.,  
Allgemeine Markttheorie,  
Tübingen/Zürich, 1965, S. 25
- /6.11/ Heuss, E.,  
a.a.O., S. 10



- /6.12/ Institut für Angewandte Sozialpsychologie,  
Verbraucherberatung zur Energieeinsparung - eine  
Evaluierung der Beratung der Arbeitsgemeinschaft  
der Verbraucher (AGV),  
Bonn, o. Datum, S. 9 (vorläufige Fassung)
- /6.13/ Haas, C.,  
Marketingstrategien in der Elektrizitäts-  
wirtschaft,  
München, 1975, S. 45
- /6.14/ Scherzer, G.,  
Die Erdgasumstellung als Marketingaufgabe,  
gwf-gas/erdgas 112 (1971), H. 12, S. 572
- /6.15/ Siegmund, H.,  
Die deutsche Gaswirtschaft im energie-  
wirtschaftlichen Strukturwandel des  
Jahres 1974,  
gwf-gas/erdgas 116 (1975), H. 7, S. 274
- /6.16/ Rammner, P., Karl, D.,  
Die öffentliche Fernwärmeförderung aus  
gesamtwirtschaftlicher Sicht,  
ifo-schnelldienst 35/36/1982, S. 8
- /6.17/ Haas, C.,  
a.a.O., S. 51
- /6.18/ Wollner, F., Kern, R.,  
Entwicklungstrends in der Wohnraumbeheizung,  
Bau Bl. 1983, Heft 10, S. 628
- /6.19/ Gruber, E., Meyer, Th.,  
a.a.O., S. 16
- /6.20/ o. Verfasser,  
Erdgas-Vormarsch nachdrücklich gewünscht,  
ZfK 6/185, S. 34
- /6.21/ o. Verfasser,  
Vom Konzept beflügelt,  
ZfK 9/85, S. 9
- /6.22/ o. Verfasser,  
Erdgas: Engagiert am Markt,  
ZfK 7/1984, S. 19
- /6.23/ Mandel, W. D.,  
Gas legt im Wettbewerb zu,  
ZfK 6/1983, S. 1
- /6.24/ Müller-Schnick, H.,  
Aktiv auf dem Wärmemarkt,  
ZfK 10/1983, S. 29

- /6.25/ Spulak, R.,  
Für die Gasheizung erwärmt,  
ZfK 9/1985, S. 9
- /6.26/ Globus-Kartendienst GmbH,  
Gemeinden versorgen ihre Bürger,  
Nr. H-5359 v. 19.11.1984
- /6.27/ Buderath, I.,  
Die Geschichte des Rheinisch-Westfälischen  
Elektrizitätswerkes 1898 - 1984,  
Essen, 1985, S. 46 ff
- /6.28/ Buderath, I.,  
a.a.O.,  
S. 53 u. S. 60
- /6.29/ o. Verfasser,  
Ohne Subventionen kein Zuwachs,  
VDI-Nachrichten, 31.05.1985, S. 33
- /6.30/ Heinze, H.,  
Kommunale Energiepolitik in Dortmund,  
in: VEW + Wirtschaft 3/1985, S. 25
- /6.31/ Deuster, G.,  
Situation und Zukunft der Fernwärme,  
FWI, 13 (1984), H. 4, S. 169/172
- /6.32/ Rheinisch-Westfälisches Elektrizitätswerk,  
Essen,  
persönliche Information
- /6.33/ Statistisches Bundesamt,  
Bautätigkeit und Wohnungen,  
Fachserie S, Reihe 1, Bautätigkeit,  
Ausgaben 1972 - 1978
- /6.34/ Statistisches Bundesamt,  
Statistisches Jahrbuch der Bundesrepublik  
Deutschland, Ausgaben 1979 - 1982,  
Wiesbaden
- /6.35/ Suding, P. H.,  
Erdgas und Fernwärme - Wettbewerber mit un-  
gleichen Voraussetzungen und Substitutionserfolgen  
im Wärmemarkt, in: Der Energiemarkt im Wandel -  
zehn Jahre nach der Ölkrise,  
München, 1984, S. 98
- /6.36/ Wallis, W. A., Roberts, H. V.,  
Methoden der Statistik,  
Hamburg, 1973, S. 2
- /6.37/ Hengst, M.,  
Einführung in die mathematische Statistik  
und ihre Anwendung,  
Mannheim, Wien, Zürich, 1967, S. 163

- /6.38/ Hengst, M.,  
a.a.O., S. 163
- /6.39/ Information Erdgasheizung,  
Daten, Fakten, Fälle 74/1,  
Essen, 1974, S. 10
- /6.40/ Bundesverband der deutschen Gas- und Wasser-  
wirtschaft e. V., (BGW),  
Kosten der Raumheizung und Warmwasserbereitung,  
BGW-Schriftenreihe, Ausgabe 1971  
" " , Heft 10, 1976  
" " , " 20, 1981  
" " , " 25, 1983  
" " , " 28, 1984  
" " , " 39, 1984/85
- /6.41/ ESSO AG,  
So heizt der Deutsche,  
Hamburg, 1971
- /6.42/ Verband der Elektrizitätswerke  
Baden-Württemberg, e. V.,  
Heizkostenvergleich Elektro-Raumheizung,  
Stuttgart, Ausgabe 1980, 1981, 1983-85
- /6.43/ Statistisches Bundesamt,  
Wirtschaftsrechnungen,  
Wirtschaft und Statistik, 1972, S. 357
- /6.44/ Statistisches Bundesamt,  
Die Budgets ausgewählter privater Haushalte,  
Wirtschaft und Statistik, 1979, S. 441  
1975, S. 439  
1977, S. 379  
1979, S. 365  
1981, S. 455  
1983, S. 447  
1985, S. 493
- /6.45/ Reents, H.,  
a.a.O., S. 20
- /6.46/ Fröling GmbH,  
"Die Frölings" - Wir sind jetzt überall  
im Gespräch, Köln, 6/1983
- /6.47/ Happel GmbH,  
Der Wärmepumpe gehört die Zukunft - Eine  
Fachinformation für Architekten,  
Herne, 1981, S. 17
- /6.48/ Brumer, R.  
Bivalente Heizanlage im Baukasten-System,  
Sonnenenergie u. Wärmepumpe,  
1981, H. 5 (Sonderdruck der Nero-Werke,  
Mengerlinghausen)

- /6.49/ Siemens AG,  
Elektro-Wärmepumpen: wirtschaftlich,  
umweltfreundlich, energiesparend,  
Broschüre Nr. 7 346/1108, Erlangen, ohne Datum
- /6.50/ Stiebel Eltron GmbH,  
Wärmepumpen-Anlagen,  
VI/K/OQ 170/483 25, Holzminden, ohne Datum

## 7. Zusammenfassung

Im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit steht die Analyse der Raumwärmeversorgung der im Zeitraum der beiden Ölpreiskrisen (1972 - 1984) erstellten Ein- und Zweifamilienhäuser.

Es ist Ziel der Arbeit, festzustellen, ob der Wandel bei der Wahl von Heizsystemen primär durch die in diesem Zeitraum veränderten technischen und ökonomischen Ausgangsbedingungen erklärt werden kann.

Da sich Haushalte im Ein- und Zweifamilienhausbereich bei der Wahl des Heizsystems zu etwa 75 % von Architekten beraten ließen bzw. diesen die Entscheidung überließen, kommt den Planungsschritten, die zum Werturteil dieser Sachverständigen führen, erhebliche Bedeutung zu. Die diesen Prozeß kennzeichnenden Arbeitsschritte beziehen sich auf die

1. Berechnung des Wärmeleistungsbedarfs eines Gebäudes
2. Vorausschätzung des Energieverbrauchs zu vergleichender Heizsysteme
3. Wahl des Verfahrens zur Wirtschaftlichkeitsberechnung und Bestimmung der Eingabewerte

Untersuchungsraum ist das direktversorgte Absatzgebiet des Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerkes (RWE) in Essen. Für dieses Gebiet, das in guter Näherung als repräsentativ für die Bundesrepublik Deutschland gelten kann, werden aus Totalerhebungen vorliegende Statistiken über die Wahl von Heizsystemen ausgewertet.

Zur Analyse der Entscheidung für Heizsysteme wird eine grafische Methode entwickelt, mit der der Zusammenhang zwischen Kostenentwicklung und Wahlentscheid geprüft wird. Um für diesen Test den Spielraum des Entscheiders bzw. des Planers in einem größeren Versorgungsgebiet angemessen zu berücksichtigen, wird die Spannbreite des Entscheidungsraumes durch ein systematisiertes Aufsuchen der wichtigsten Einflußgrößen transparent

gemacht. Daraus werden in zeitlicher Entwicklung (1972 - 1984) für drei Varianten (optimistische, mittlere und pessimistische Einschätzung) Kostenrelationen zwischen jeweils zwei Vergleichssystemen ermittelt. Das Maß der Korrelation der Kostenentwicklung einzelner Varianten mit der tatsächlichen Marktentscheidung wird zur Bewertung der Rationalität der Entscheidung herangezogen. Als Kalküle werden sowohl Energiekosten als auch die gesamten Heizkosten (Energie-, Kapital-, Wartungs- und Instandhaltungskosten) berücksichtigt.

Basis dieser Heizkostenvergleiche ist das quasi-statische Verfahren nach der Richtlinie VDI 2067. Zur Einschätzung der mit dieser Methode ermittelten Ergebnisse werden zusätzlich dynamische Rechnungen durchgeführt sowie kritische Werte (anlegbare Preise und Kosten) errechnet.

Erstes Ergebnis der Arbeit ist der Wärmebedarf für drei ausgewählte Haustypen im Ein- und Zweifamilienhausbereich (Kap. 3). Von großem Einfluß auf den Wärmebedarf sind Wärmeschutzanforderungen bzw. die sich verändernden Bedingungen der DIN 4701 (Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden). Im Betrachtungszeitraum verringert sich dadurch der Leistungsbedarf eines freistehenden Einfamilienhauses ( $140 \text{ m}^2$  Wohnfläche) von ca. 22 kW (im Jahre 1972) auf nur noch 8 kW (im Jahre 1984), also um fast 64 %.

In die Heizkostenvergleiche werden außer den konventionellen Systemen (Öl-, Gas- und Koksessel, Fernwärme und Nachtstromspeicheröfen) auch monovalente und bivalente Elektrowärmepumpen als Vertreter innovativer Systeme einbezogen.

Aus Leistungsbedarf, Nutzungsgraden und Vollbenutzungsstunden ergeben sich die Energieverbräuche. Im ganzen Betrachtungszeitraum wird dabei ein Bereich von  $400 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  (Koksessel - im Jahre 1972) bis etwa  $30 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  (monovalente Grundwasser-Elektrowärmepumpe - im Jahre 1984) abgedeckt. Tendenziell verringern sich die vorausgeschätzten Energieverbräuche aller Systeme erheblich, dadurch mindern sich die Substitutionspotentiale für energiesparende, aber kapitalintensive Heizsysteme (Wärmepumpen) gleichermaßen (Kap. 4).

Im Ergebnis zeigt die Analyse der vollzogenen Entscheidungen für Heizsysteme die Existenz dominierender Marktstellungen von Heizöl, Erdgas und Fernwärme in den für sie typischen Versorgungssituationen auf. Kohle, Strom und Flüssiggas spielen dagegen in allen Fällen nur eine ergänzende Rolle.

Dieser offensichtlich eingeschränkten Auswahl entsprechend werden die Heizkostenvergleiche aufgebaut. Verglichen wird jeweils ein dominierendes Heizsystem mit einem offenbar weniger attraktiven Wettbewerber.

Das entwickelte grafische Verfahren erweist sich als geeignet, den Zusammenhang zwischen Kostenentwicklungen und Auswahlentscheidung über die Stärke der Korrelation dieser beiden Größen aufzuzeigen.

Dies gilt sowohl für den Vergleich konventioneller Heizsysteme als auch für den Vergleich dieser Systeme mit Wärmepumpen. Mit Hilfe der systematisierten Heizkostenvergleiche kann der Bereich rationalen Handelns unter den Bedingungen verschiedener Kalküle (Energiekosten bzw. gesamte Heizkosten) abgesteckt werden.

Die Ergebnisse zeigen, daß bei den konventionellen Heizsystemen der Wandel in der Gunst des Entscheiders überwiegend eine Reaktion aufgrund sich verändernder Kostenrelationen war, eine Präferenz, die in weiten Bereichen auch als rationale Entscheidung eingestuft werden kann. Aus der vergleichenden Betrachtung von Wärmepumpen mit dem Hauptwettbewerber Ölkessel ist ein ähnliches Verhalten erkennbar, allerdings war hier eine rationale Entscheidung bei Einbeziehung aller Kostenelemente nur im Grenzbereich möglich.

Aufgrund der vorliegenden Datenbasis kann jedoch nicht festgestellt werden, wie hoch der Anteil rationaler Entscheidungen an dem Ergebnis, z. B. eines betrachteten Jahrganges, war. Hier könnte eine nachträgliche, aussagefähige Befragung bei Versorgungsunternehmen und Planern zu weiteren Fundierung der dargestellten Methode beitragen.

## Danksagung

Die Anregung zur Durchführung der Arbeit verdanke ich Herrn Prof. Dr. U. Hansen, der sie durch konstruktive Kritik und gleichbleibende Motivierung maßgeblich gefördert hat. Herrn Prof. Dr. R. Pruschek gilt mein besonderer Dank für die Übernahme des Korreferats.

Ich danke ferner all jenen, die durch ihre Diskussionsbereitschaft und konstruktive Kritik zum Gelingen der Arbeit beigetragen haben. Hervorheben möchte ich besonders Herrn Dr. E. Geißler, der die mühevollen Arbeit des Korrekturlesens übernommen hat.

Frau M. Bischoff und Herrn E. Stute danke ich für die Übernahme der umfangreichen Schreibaarbeiten bzw. für das Anfertigen der zahlreichen Abbildungen und für die engagierte Zusammenarbeit.

Für die Bereitstellung wichtiger Daten danke ich besonders Herrn Ing. Börstinghoff von der Firma Thyssengas GmbH in Duisburg, Herrn Dipl.-Volkswirt H. Lindhorst vom Rheinisch-Westfälischen Elektrizitätswerk in Essen und Herrn Dr. D. Oesterwind von den Stadtwerken Düsseldorf.

Mein besonderer Dank gilt meiner Frau Christina und meinen Söhnen Christof und Lars, die geduldig meine Feierabendbeschäftigung akzeptierten.





REIHE ANGEWANDTE SYSTEMANALYSE  
DER PROGRAMMGRUPPE SYSTEMFORSCHUNG UND TECHNOLOGISCHE ENTWICKLUNG  
KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GMBH - KFA/STE

Nr. 1: Schmitz, K., Niehaus, F., Rath-Nagel, St., Voß, A.  
Die Entwicklungsmöglichkeiten der Energiewirtschaft in  
der Bundesrepublik Deutschland - Untersuchung mit Hilfe  
eines dynamischen Simulationsmodells,  
Jül-Spez-1, Bd. I, Nov. 1977

Schmitz, K., et al.  
Die Entwicklungsmöglichkeiten der Energiewirtschaft in  
der Bundesrepublik Deutschland - Untersuchung mit Hilfe  
eines dynamischen Simulationsmodells,  
Jül-Spez-1, Bd. II, Nov. 1977

Nr. 2: Bohn, Th., Eich, P., Hansen, U., Jehle, B.  
Künftige Stromgestehungskosten von Großkraftwerken,  
Jül-Spez-2, Nov. 1977

Nr. 3: Wibbe, H.-B.  
Probleme der kurzfristigen Markteinführung eines  
nuklearen Fernenergiesystems - eine Betrachtung aus  
Abnehmersicht für einen räumlich begrenzten Markt,  
Jül-1486, Feb. 1978

Nr. 4: Jehle, B.  
Einsatzmöglichkeiten und Einsatzbeispiele der Kern-  
energie in NRW unter besonderer Berücksichtigung ihres  
Beitrags zur Strukturverbesserung,  
Jül-Spez-11, Juni 1978

Nr. 5: Hensel, W.  
Beitrag zur Standardisierung der Standortbestimmung von  
Kernkraftwerken,  
Jül-Spez-12, Juni 1978

Nr. 6: v. Lojewski, D.  
Wärme-, Strom- und Synthesegasversorgung von Ballungs-  
räumen durch Fernenergie - aufgezeigt am Großraum Köln,  
Jül-1516, Juni 1978

Nr. 7: Lenhardt, W.  
Entwicklung des Strombedarfs in der Bundesrepublik  
Deutschland und alternative Möglichkeiten seiner  
Deckung,  
Jül-Spez-18, Juli 1978

- Nr. 8: Kolb, G. (Redaktion)  
gemeinsam mit KFA/IRE, KFA/PTH, HRB, GHT  
Studie über die Wirtschaftlichkeit der Stromerzeugung  
mit Hochtemperatur-Reaktoren,  
Jül-1527, Aug. 1978
- Nr. 9: Meliß, M.  
Möglichkeiten und Grenzen der Sonnenenergienutzung in  
der Bundesrepublik Deutschland mit Hilfe von Nieder-  
temperaturkollektoren - Grundlagen, Technische Systeme,  
Wirtschaftlichkeit;  
Jül-Spez-25, Dez. 1978
- Nr. 10: Wagner, H.J.  
Der Energieaufwand zum Bau und Betrieb ausgewählter  
Energieversorgungstechnologien - eine nettoenergetische  
Analyse,  
Jül-1561, Dez. 1978
- Nr. 11: Bartholdi, J.  
Einführung der Nuklearen Fernenergie - umweltbedeutsame  
Konsequenzen und deren Bewertung,  
Jül-1573, Jan. 1979
- Nr. 12: Egberts, G.  
Kostenoptimale Entwicklungsperspektiven des Raum-  
heizungssektors im Energiesystem der Bundesrepublik  
Deutschland,  
Jül-Spez-41, Juni 1979
- Nr. 13: Düring, K.  
Transport- und Verteilungskosten konventioneller  
Systeme zur Wärmeversorgung der Bundesrepublik  
Deutschland,  
Jül-Spez-57, Okt. 1979
- Nr. 14: Leimkühler, K.  
Metallische Rohstoffe - Rezyklierung - Energieeinsatz.  
Untersuchung mit Hilfe eines Simulationsmodells,  
Jül-Spez-44, Juli 1979
- Nr. 15: Lenhardt, W., Schwefel, H.P., Sievert, D., et al.  
Ein Energieversorgungsmodell zur Langfristprognose der  
Umwandlungskapazitäten,  
Jül-Spez-63, Dez. 1979
- Nr. 16: Kollmann, H.  
Die räumliche Wärmebedarfsverteilung der Haushalte und  
Kleinverbraucher in der Bundesrepublik Deutschland,  
Jül-Spez-64, Dez. 1979

- Nr. 17: Orth, D.  
Niedertemperatur-Wärmeversorgung unter besonderer  
Berücksichtigung ausgewählter neuer Technologien,  
Jül-Spez-65, Dez. 1979
- Nr. 18: Manthey, Ch. (editor)  
Energy Technology Data Handbook - Conversion  
Technologies,  
Jül-Spez-70, Vol. I, Jan. 1980
- Nr. 19: Manthey, Ch., Tosato, G.C.  
Energy Technology Data Handbook - End Use Technologies.  
Insulation, Space- and Water Heating Systems,  
Jül-Spez-70, Vol. II, Okt. 1980
- Nr. 20: Hildebrandt, T.  
Die nächsten 50 Jahre,  
Analyse und Szenarium der wirtschaftlichen Evolution,  
Jül-Spez-81, Juni 1980
- Nr. 21: Finnis, M.W.  
Phase II - Final Report of MARKAL Studies for the  
United Kingdom,  
Jül-Spez-92, Okt. 1980
- Nr. 22: Scharff, E., Walbeck, M. (Federführung)  
Planstudie: Halboffene Fernenergieversorgung, insbesondere  
für den Raum Frankfurt a.M. mit Heißwasser-Fernwärmeversor-  
gung für den Raum Köln,  
JÜL-Spez-95, Dez. 1980
- Nr. 23: Costa, J.O., Gil Sordo, V., Blasco, M., Jara, A.  
Energy Scenarios and Implementation of New Technologies  
for Spain,  
JÜL-Spez-110, April 1981
- Nr. 24: Jaek, W.  
Mögliche Entwicklung des weltweiten Ausbaus der Kernenergie  
unter Berücksichtigung wirtschaftlicher, gesellschaftlicher  
und politischer Aspekte,  
JÜL-Spez- 118, Juli 1981
- Nr. 25: Schmitz, J.  
Abschätzung des energiesparenden Innovationspotentials der  
Industrie Steine und Erden,  
JÜL-1729, Aug. 1981

- Nr. 26: Bansal, N.K., Uhlemann, R., Boettcher, A.  
Plastic Solar Air Heaters of a Novel Design - Testing and Performance,  
JÜL-1783, April 1982
- Nr. 27: Höpfinger, E., Drepper, F., Heckler, R., Schwefel, H.P.  
unter Mitarbeit von Hermes, U., Horst, H.  
Zur Einbettung der Energiewirtschaft in die Volkswirtschaft  
- Vier dynamische Modelle -  
JÜL-Spez-166, Juli 1982
- Nr. 28: Grüter, J.W., Wolff, M.  
Die Energieversorgung der Gemeinde Seedorf im Landkreis  
Lüchow-Dannenberg, Niedersachsen - Eine Endenergieanalyse  
JÜL-Spez-170, August 1982
- Nr. 29: Huber, W., Allhorn, H., Birnbaum, U.  
Emissionen von Kohlenutzungsanlagen und mögliche Minderungs-  
maßnahmen,  
JÜL-1815, Nov. 1982
- Nr. 30: Müller, M., Maher, K.J., with contributions of Rath-Nagel, St.,  
Tosato, G.C.  
Summary Report on Technology Characterizations,  
International Energy Agency: Energy Technology Systems  
Analysis Project,  
JÜL-Spez-185, Dez. 1982
- Nr. 31: Hildebrandt, T.  
Wechselwirkungen zwischen Energiewirtschaft und Gesamt-  
wirtschaft  
JÜL-Spez-192, Dez. 1982
- Nr. 32: Höpfinger, E., Huber, W.  
EFOM 12C CASE STUDIES - Candidate Technologies to Relieve  
the EUROPEAN Energy System, Germany,  
JÜL-Spez-193, EUR 8428 EN, Jan. 1983
- Nr. 33: Späte, F.  
Bestimmung des thermischen Verhaltens von zwei Thermo-  
siphonanlagen,  
JÜL-Spez-194, Febr. 1983
- Nr. 34: Uhlemann, R.  
Performance and Cost Analysis of Pressurized and Non-  
pressurized Domestic Solar Water Heating Systems with  
Thermosyphonic Flow,  
JÜL-1882, Dez. 1983

- Nr. 35: Kollmann, H., Plewnia, M., Schmitz, J., Huber, W.  
Stand und Entwicklungstendenzen der Raumwärmeversorgung der Haushalte -  
Bd. 1: Determinanten des Heizwärmebedarfs von Gebäuden,  
Bd. 2: Kosten für Energieeinsparung durch Wärmedämmung von Gebäuden und heizungstechnische Maßnahmen,  
Bd. 3: Vergleich ausgewählter Heizungssysteme unter energetischen, ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten,  
JÜL-Spez-234, Dez.1983
- Nr. 36: Heckler, R., Pohlmann, M., Schwefel, H.P.  
Ein Modell zur Analyse der Umwandlungskapazitäten im Energiesektor der Bundesrepublik Deutschland,  
JÜL-Spez-237, Dez. 1983
- Nr. 37: Aringhoff, R., Bezerra, S., Hymmen, H.A., Kolb, G., Pimentel, R. (Working Group KFA/STE, CAEEB/Brasilien, SETEC/Bras.)  
Program of Research and Development on the Utilization of Brazilian Coal and on Energy Systems Analysis and Planning for Brazil,  
JÜL-Spez-261, June 1984
- Nr. 38: Correa-Guzman, E.J.  
Erweiterung des unscharfen linearen Programmierens bei Mehrfachzielsetzungen. Beschreibung und Anwendung auf Energiesystemanalysen,  
JÜL-Spez-262, Juli 1984
- Nr. 39: Allhorn, H.  
Modellmäßige Analyse der Energie- und Massenströme einer Kohleverflüssigungsanlage zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeit unter besonderer Berücksichtigung von Maßnahmen zur Emissionsminderung;  
JÜL-1937, Juli 1984
- Nr. 40: Romahn, B.,  
mit Beiträgen von Wilde, D.,  
Redaktion der gekürzten Fassung: Kolb, G.  
Energiestudie für die Provinz Guangdong/Volksrepublik China; gekürzte Fassung des Bandes V: Energieversorgungsstrategien für die Provinz Guangdong bis zum Jahr 2000,  
JÜL-Spez-264, Aug. 1984
- Nr. 41: Wensierski, P.W., unter Mitarbeit von Scheller, W.  
Analytische Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit von Solaranlagen zur Warmwasserbereitung,  
JÜL-Spez-268, Aug. 1984

- Nr. 42: Wensierski, P.W.  
Analyse und Optimierung solarer Warmwasser- und Raum-  
heizungssysteme von Wohnbauten mit verschiedenem Wärme-  
schutz;  
JÜL-Spez-301, Febr. 1985
- Nr. 43: Riemer, H.  
Analyse der Einsatzmöglichkeiten solarthermischer Heiz-  
systeme zur zentralen Niedertemperatur-Wärmeversorgung  
in der Bundesrepublik Deutschland;  
JÜL-Spez-307, Apr. 1985
- Nr. 44: Jobsky, Th.  
Elektrizität im industriellen Energiemarkt. Eine sektorale  
Analyse der Gründe und Ursachen der Elektrizitätsanwendung  
unter Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung;  
JÜL-Spez-308, Apr. 1985
- Nr. 45: Wensierski, P.W.  
SOLARYS - ein interaktives Modell zur Simulation von  
Solarsystemen.  
Teil I und Teil II,  
JÜL-Spez-346, Febr. 1986
- Nr. 46: Giesecke Sara-Lafosse, C.R.  
World Computer Model of Oil Markets: OPEC Pricing Strategy  
Model in the Short and the Long Run,  
JÜL-Spez-352, March 1986
- Nr. 47: Scheller, W.  
Solaranlagen zur Warmwasserbereitung. Analytische Unter-  
suchungen von Thermosiphon- und Pumpenanlagen unter  
mitteleuropäischen Klimabedingungen,  
JÜL-2047, März 1986
- Nr. 48: Sanchez Buelga, A.  
Mathematical Programming Studies of Short Run Oil  
Refinery Rents,  
JÜL-Spez-377, Nov. 1986
- Nr. 49: Kollmann, H.  
Analyse der Auslegung, des Betriebes und der Beschaffung  
von Heizsystemen für Haushalte - Wärmebedarf, technische  
Systeme, Kosten, Marktentscheidung.  
JÜL-Spez-384, Dez. 1986
- Nr. 50: Vos, H.  
Foraminiferenökologie im Rhonedelta,  
JÜL-2110, Dez. 1986

